



HAL
open science

Conception d'une frise chrono-systémique et d'une cartographie narrative pour représenter la trajectoire du socio-écosystème de la rivière Orne

Jacob Jeanot

► To cite this version:

Jacob Jeanot. Conception d'une frise chrono-systémique et d'une cartographie narrative pour représenter la trajectoire du socio-écosystème de la rivière Orne. Géographie. 2024. hal-04660095

HAL Id: hal-04660095

<https://hal.univ-lorraine.fr/hal-04660095v1>

Submitted on 23 Jul 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



**UNIVERSITÉ
DE LORRAINE**

**BIBLIOTHÈQUES
UNIVERSITAIRES**

Mémoire diffusé sur recommandation des responsables du Master

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact bibliothèque : ddoc-memoires-contact@univ-lorraine.fr
(Cette adresse ne permet pas de contacter les auteurs)

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

Conception d'une frise chrono-systémique et d'une cartographie narrative pour représenter la trajectoire du socio-écosystème de la rivière Orne



Jacob JEANOT

Mémoire de recherche

Master 1 en Géographie, Aménagement,
Environnement et Développement

Parcours : Paysage, Patrimoine et
Environnement

• INFORMATIONS

Maîtres de stage

Claire LANG-DELUS
Isabelle CHARPENTIER

Tuteur universitaire

Xavier ROCHEL

• LABORATOIRE



16 rue de la Victoire, 57950
Montigny-lès-Metz
contact-loterr@univ-lorraine.fr

• MEMBRES DU PROJET



PÉRIODE DE STAGE : DU 18 MARS AU 26 JUILLET 2024

Les deux photographies de la première page illustrent *l'évolution du paysage dans le bassin versant étudié*. De gauche à droite, la première photographie montre le **démantèlement d'une usine sidérurgique** à Moyeuvre-Grande (1991), et la deuxième présente l'**allée de promenade du fil bleu de l'Orne** (2024).

Sources iconographiques :

- (1) Photographie aérienne prise par André HUMBERT¹
- (2) Photographie numérique prise par Jacob JEANOT

L'arrière-plan de la couverture a été créé en vectorisant l'image (2) par l'Adobe Illustrator.

¹ Banque d'images géographiques : <https://imageo.univ-lorraine.fr/s/imageo>

Master de Géographie, Aménagement, Environnement, Développement
Spécialité : Paysage – Patrimoine – Environnement

Mémoire de stage de 1^{ère} année

Conception d'une frise chrono-systémique et d'une cartographie narrative pour représenter la trajectoire du socio-écosystème de la rivière Orne

Jacob JEANOT

Stage réalisé du 18 mars au 26 juillet 2024
au Centre de recherche en Géographie LOTERR à Montigny-lès-Metz

Sous la direction de :

Claire LANG-DELUS | Maître de stage
Isabelle CHARPENTIER | Co-maître de stage
Xavier ROCHEL | Tuteur pédagogique

En collaboration avec :

Emmanuelle MONTARGÈS-PELLETIER
Laurence MANSUY-HUAULT

Mémoire soutenu le 02 juillet 2024 devant le jury composé de :

- **Xavier ROCHEL**, Professeur des Universités
- **Claire LANG-DELUS**, Maître de Conférences
- **Isabelle CHARPENTIER**, Directrice de Recherche

Remerciements

Je souhaite exprimer ma profonde gratitude envers les individus mentionnés ci-dessous pour leur contribution à mon expérience enrichissante lors de mon séjour au sein du LOTERR, ainsi que pour leur soutien dans la réalisation de ma mission et la rédaction de ce rapport de stage.

Je tiens tout particulièrement à remercier Madame **Claire LANG-DELUS**, Maître de Conférences, qui m'a permis de réaliser ce stage. Je lui exprime également toute ma gratitude pour ses conseils scientifiques alliés à une grande gentillesse.

Un grand merci à Madame **Isabelle CHARPENTIER**, Directrice de Recherche, pour avoir suivi régulièrement l'avancée de ma mission, transmis des notions essentielles sur le socio-éco-technosystème et proposé des références bibliographiques de qualité.

Je suis profondément reconnaissant envers Monsieur **Xavier ROCHEL**, Professeur des Universités, pour avoir accepté d'être mon tuteur pédagogique. Son expertise, ses conseils et son soutien ont été d'une grande valeur tout au long de la réalisation de ce travail.

Je remercie vivement Madame **Emmanuelle MONTARGES-PELLETIER**, Directrice de Recherche du CNRS au LIEC, et Madame **Laurence MANSUY-HUAULT**, Maître de Conférences, pour leurs échanges enrichissants qui ont grandement contribué à l'avancement serein de mon mémoire.

Une mention particulière est adressée à Monsieur **Simon EDELBLUTTE**, Professeur des Universités, pour sa disponibilité, son honnêteté intellectuelle et ses précieux conseils.

Je saisis également cette occasion pour exprimer ma gratitude à **l'ensemble du corps enseignant de l'Université de Lorraine** pour votre dévouement et le partage généreux de vos connaissances. Merci infiniment, mes chers professeurs, pour votre grandeur d'âme.

Un grand merci aussi envers **tout le personnel**, les **doctorants** et les **stagiaires** du laboratoire de géographie LOTERR de Montigny-lès-Metz pour leur accueil chaleureux au sein du groupe ainsi que pour leur bonne humeur.

Pour terminer, j'aimerais exprimer ma gratitude envers les membres de ma famille, notamment mes **parents**, mes **frères** et ma **sœur**, pour leur soutien constant, ainsi qu'à **Francisca VAVIHELY**, ma compagne, dont le soutien infailible m'a été d'une grande aide.

Sommaire

Remerciements	5
Sommaire	6
Introduction	7
PARTIE 1 : CADRE GENERAL	10
1.1. État de l’art.....	11
1.2. Présentation de la zone d’étude.....	15
1.3. Présentation de la structure d’accueil	23
PARTIE 2 : MÉTHODOLOGIE	24
2.1. Exploitation des données géographiques et analyses statistiques	25
2.2. Frise chrono-systémique	29
2.3. La géohistoire à travers la cartographie narrative	31
2.4. Dépôt de données	32
2.5. Chronogramme du stage	35
PARTIE 3 : RÉSULTATS & DISCUSSION	36
3.1. Des évolutions démographiques contrastées entre 1861 et 2020.....	37
3.2. Une anthropisation du lit mineur accentuée à partir des années 1930	43
3.3. Des villages-rues aux friches industrielles : des renaturations en cours	49
3.4. Frise chrono-systémique	52
3.5. Discussion, limites et perspectives de l’étude.....	58
Conclusion	62
Références	63
Glossaires	67
Liste des acronymes et sigles	68
Table des illustrations	69
Annexes	70
Table des matières	98
Résumé	101
Abstract	101

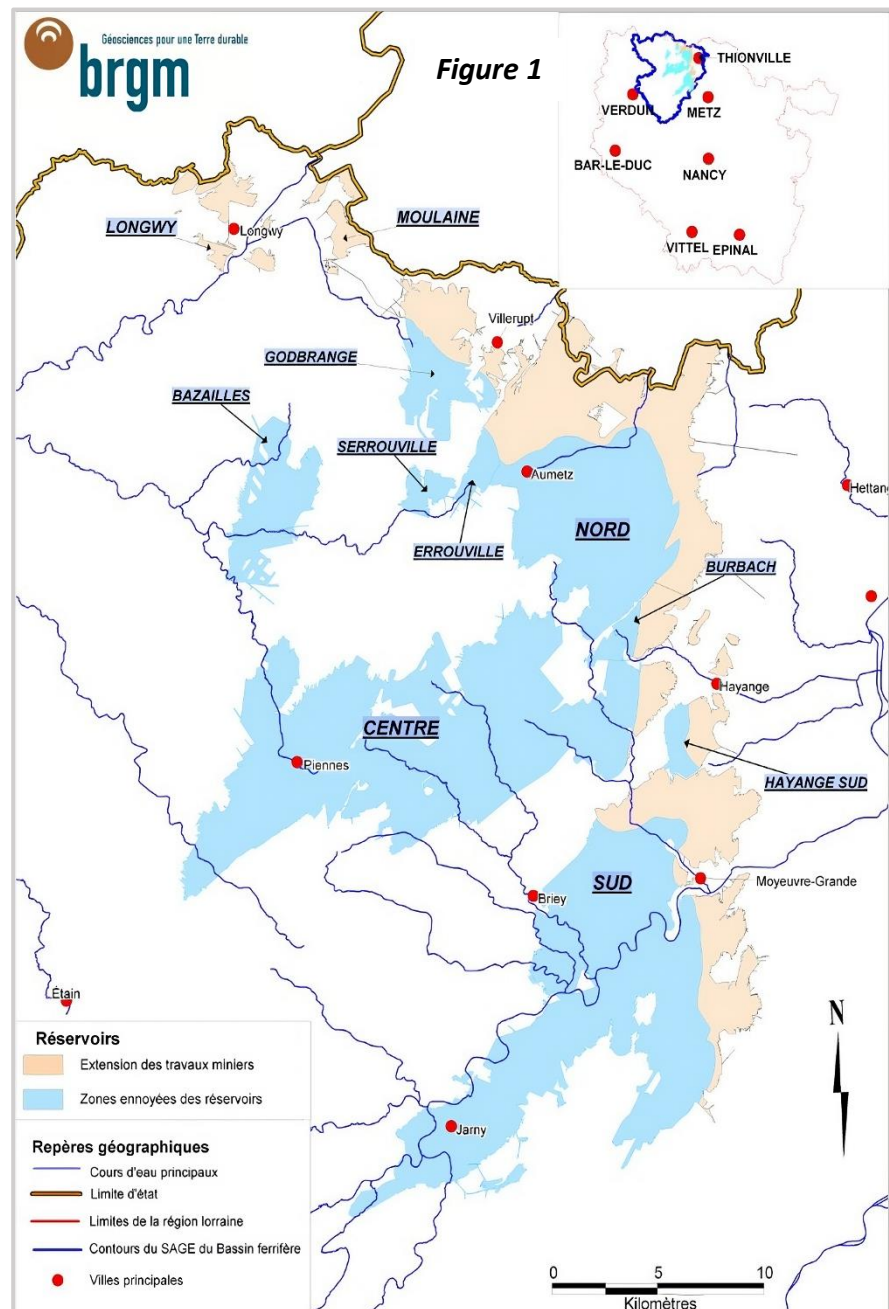
Introduction

La biodiversité mondiale a subi une diminution significative au cours des dernières décennies, avec une réduction globale estimée à 30 % entre 1960 et 2010, principalement imputable aux activités humaines (WWF, 2010). Cette tendance alarmante est accentuée par le développement économique sans précédent, soutenu par une croissance démographique rapide (Mbarek, 2016). En effet, selon le dernier rapport des Nations Unies (2022) sur les perspectives de la population dans le monde, la population mondiale pourrait atteindre 10,4 milliards d'habitants d'ici 2100, accentuant ainsi la pression exercée sur les écosystèmes. Dans ce contexte, il est impératif d'évaluer les interactions entre les systèmes écologiques et les sociétés humaines, ainsi que les processus conduisant à la détérioration des milieux naturels. Cependant la compréhension de ces interactions demeure un défi majeur en raison de la diversité des disciplines impliquées, qui relèvent à la fois des sciences sociales et des sciences naturelles (Liu *et al.*, 2007). La notion du socio-écosystème introduite par Ostrom (2007) permet de surmonter ces difficultés. Cette approche considère l'Homme comme une composante intégrante du système (Lagadeuc & Chenorkian, 2009).

L'étude d'un socio-écosystème revêt une importance particulière lorsqu'elle est menée sur le long terme, puisque ce système n'est pas statique, mais plutôt le résultat de processus évolutifs et de décisions passées ayant des répercussions sur le devenir d'un territoire (Pinault, 2021). Pour analyser ces trajectoires, la frise chrono-systémique initiée par Elissalde (2000) est un outil essentiel, largement utilisé par des chercheurs (Spiegelberger *et al.*, 2018). De plus, elle est apte à mobiliser divers champs disciplinaires, offrant ainsi une perspective processuelle efficace pour analyser les dynamiques complexes et les changements sur un territoire donné, montrant les moments clés et points de rupture (Bergeret *et al.*, 2015).

Le laboratoire LOTERR, avec les laboratoires BEAT, CRULH, ICUBE, LIEC, et en partenariat avec la Zone Atelier Moselle (ZAM), s'est intéressé au socio-écosystème de la rivière Moselle à travers le projet BIOM. Ce projet, financé par la MSH Lorraine et basé sur une approche de science ouverte, vise à explorer les interactions Hommes-Milieus, ainsi que les impacts des changements globaux, notamment les évolutions climatiques et socio-économiques du bassin versant de la Moselle. Dans une perspective ambitieuse, il aspire à rendre les données accessibles aux acteurs du territoire et aux chercheurs grâce à une interface web proposant une frise chrono-systémique et une cartographie narrative retraçant l'histoire du bassin versant de la Moselle, s'appuyant sur la plateforme numérique de NAMO GeoWeb et s'inspirant du modèle. Il est important de noter que la Moselle a fait l'objet de nombreuses études et recherches au fil des décennies, générant ainsi des données multidisciplinaires conséquentes.

Dans le cadre de ce stage, compte tenu de l'étendue géographique du bassin versant de la Moselle, la zone d'étude a porté sur le sous-bassin de l'Orne. Cette décision s'est avérée pertinente, en raison des transformations significatives observées sur ce territoire, notamment l'essor et le déclin de l'industrie sidérurgique, qui a profondément modifié le paysage socio-environnemental, et en raison de l'abondance de données disponibles. En effet, l'Orne a suscité l'intérêt d'un grand nombre de chercheurs, notamment au sein de la ZAM. Il convient de souligner que la partie amont, rurale, se distingue nettement de la partie aval, qui s'inscrit dans les réservoirs miniers du bassin ferrifère lorrain, à partir de la commune de Conflans-en-Jarnisy (voir *Figure 1* : Bassin de l'Orne dans la zone ferrifère - BRGM, 2024).



Face à ce constat, la problématique se pose ainsi : **quelle est l'évolution du socio-éco-technosystème² dans la vallée de l'Orne, particulièrement en matière de renaturation ?** Les objectifs du stage consistent alors à :

- Analyser et retracer la trajectoire du socio-éco-technosystème par le biais d'un travail important de collecte, ainsi que par l'application des analyses statistiques appropriées ;

² Article de McPhearson *et al.* (2022) : <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2022.04.007>

- Proposer des représentations visuelles pertinentes de cette trajectoire en utilisant des outils tels que des cartes, des séries temporelles et une frise chrono-systémique ;
- Procéder au dépôt d'une partie des données collectées et produites, accompagnées de leurs métadonnées, sur une plateforme de dépôt de données dédiée à la science ouverte.

Afin d'atteindre ces objectifs, ce mémoire sera structuré en trois parties distinctes : la première partie sera consacrée à l'état de l'art et à la présentation détaillée de la zone d'étude ; la deuxième partie sera focalisée sur la méthodologie adoptée, englobant non seulement la création des représentations visuelles, mais également les procédures de collecte méticuleuse des données et les démarches pour garantir leur dépôt ; et enfin, la troisième partie sera dédiée à la présentation des résultats obtenus, suivie d'une discussion critique mettant en lumière les avancées significatives de l'étude ainsi que ses éventuelles limites. Ces analyses contribueront à éclairer la trajectoire du socio-éco-technosystème dans le bassin versant de l'Orne, tout en examinant les défis rencontrés au cours de ce stage.

PARTIE 1 : CADRE GENERAL

1.1. État de l'art

1.1.1. La notion des services écosystémiques et socio-écosystèmes

Les années 1970 ont été le point de départ d'une prise de conscience croissante des défis environnementaux et climatiques³. Cette prise de conscience a été suivie par une période de médiatisation plus intense au fil des décennies. À partir des années 1990, des travaux majeurs sur les services écosystémiques commencent à voir le jour, tel que l'article de Costanza *et al.* (1997)⁴ ou encore celui de Daily *et al.* (1997)⁵, marquant ainsi une étape significative dans la compréhension de la nature (Méral, 2012).

1.1.1.1. Des définitions qui se complètent

Lorsque le biotope et la biocénose se rencontrent, ils forment l'écosystème. En écologie, le biotope (du grec ancien : βίος / bíos « vie », et τόπος / tópos « lieu ») englobe les conditions physico-chimiques d'un milieu, tandis que la biocénose représente l'ensemble des organismes vivants dans ce même milieu, composée de flore, faune, fonge (champignons) et des populations de micro-organismes (Massicotte, 2012). Par contre, le socio-écosystème (SES) se définit comme des systèmes intégrés qui unissent les sociétés et la nature (Lagadeuc & Chenorkian, 2009). Ces auteurs soulignent l'importance de redéfinir les écosystèmes en incluant explicitement tous les acteurs, mettant ainsi l'homme comme une composante active de ces systèmes. De plus, selon eux, l'absence d'intégration de l'homme dans les études traditionnelles limite la compréhension. L'analyse d'un socio-écosystème nécessite une approche interdisciplinaire ainsi qu'une exploration des dynamiques spatio-temporelles pour appréhender les processus complexes qui les gouvernent (Charpentier & Viviani, 2022).

1.1.1.2. Typologie des services

L'article de « Costanza *et al.* » de 1997, intitulé « *The value of the world's ecosystem services and natural capital* », est considéré comme le premier travail scientifique à avoir tenté de recenser les services écosystémiques offerts par la nature et à en estimer les valeurs pour l'humanité (Dupras, 2014). Dans cet article, les auteurs ont recensé 16 biomes, classés en 17 catégories, mais cette classification a été critiquée en raison des chevauchements entre certains services, ce qui peut conduire à une surestimation de la valeur totale en raison du double comptage (MEA, 2005). En réponse à ces critiques, le « Millennium Ecosystem Assessment »

³ Chronologie du changement climatique : <https://www.vie-publique.fr/eclairage/290911>

⁴ Article de Costanza *et al.* (1997) : <https://www.researchgate.net/publication/40197297>

⁵ Article de Daily *et al.* (1997) : <https://www.researchgate.net/publication/37717461>

(MEA) a publié en 2005 une classification dans un rapport scientifique. Ce rapport est rédigé sous l'impulsion du Secrétaire Général des Nations Unies, Kofi Annan, en l'An 2000, ce qui lui confère une portée mondiale. Pendant quatre ans, de 2001 à 2005, 1 360 experts issus de 95 pays se sont attelés à travailler les liens entre les écosystèmes et le bien-être humain à travers ce qu'ils ont nommé les services écosystémiques (Pinault, 2021). Cette classification a regroupé les services en quatre catégories distinctes :

- **Les services d'approvisionnement** : ils renvoient à la consommation directe de l'être humain et comprennent les produits matériels fournis par les écosystèmes tels que les aliments, l'eau, les matières premières (bois et fibres), les ressources médicinales, etc...
- **Les services de régulation** : ils comprennent les fonctions régulatrices des écosystèmes, tels que la régulation du climat, de la qualité de l'air, la séquestration du carbone, la pollinisation, etc...
- **Les services culturels** : ils englobent les avantages non matériels que les humains tirent des interactions avec les écosystèmes, comme le divertissement, le tourisme, les effets sur la santé mentale et physique, la valeur esthétique, culturelle et spirituelle, etc...
- **Les services de support** : ils représentent le soutien et les mécanismes fonctionnels des écosystèmes qui permettent à la biodiversité de fournir des services utiles à l'humanité. Ils regroupent la quasi-totalité des autres services et comprennent les habitats des espèces, le maintien de la diversité génétique, la formation du sol, la photosynthèse, le recyclage des substances fertilisantes, etc...

1.1.1.3. Évaluation des services écosystémiques et justification de la monétarisation

L'évaluation des services écosystémiques est principalement axée sur des considérations économiques, visant à justifier la protection des milieux en mettant en avant les intérêts économiques (Castro & Arnauld de Sartre, 2014). Par conséquent, cette évaluation est une tentative d'attribuer des valeurs quantitatives afin que nous puissions les apprécier (Barbier *et al.*, 1997). En outre, ces évaluations poursuivent des objectifs plus vastes, tels que la « *clarification des enjeux liés à la conservation ou à la destruction des écosystèmes, ainsi que la possibilité de confronter ces enjeux à d'autres éléments contribuant au bien-être social* » (Salles, 2010). Toutefois, l'attribution d'une valeur à un bien ou service environnemental demeure une tâche complexe. La valeur d'un bien ou d'un service dépend de notre disposition à payer pour l'obtenir (Barbier *et al.*, 1997), ce qui la rend intrinsèquement relative.

Elle variera donc selon le groupe social, la région ou le pays, en fonction de l'importance que la société lui accorde (Halilou, 2009). Depuis la parution du rapport du MEA en 2005, divers modèles d'évaluation ont émergé, notamment le modèle TEEB⁶ en 2010 ou encore le modèle en cascade⁷ de Haines-Young & Potschin en 2010 aussi (Viviani, 2020).

1.1.2. L'interdisciplinarité pour comprendre les relations Homme-Nature

Les recherches menées sur les socio-écosystèmes demandent de croiser des informations (et/ou données) dynamiques, de natures et d'échelles différentes (Hamman, 2017). Cette approche implique un dialogue essentiel entre les sciences humaines et sociales, et les sciences naturelles (Díaz *et al.*, 2015). Ainsi, elle vise à approfondir la compréhension des interactions complexes entre les activités humaines et les écosystèmes, suscitant de nombreux enjeux scientifiques. En effet, de nombreux problèmes dépassent le cadre d'une seule discipline. L'interdisciplinarité offre deux avantages majeurs : la complémentarité, car aucune discipline ne peut fournir une explication exhaustive par elle-même ; et la créativité, stimulée par les interactions entre les disciplines qui remettent en question les paradigmes établis et favorisent l'émergence d'idées novatrices et de méthodologies innovantes (ICRA, 1993).

Les collaborations interdisciplinaires se multiplient de plus en plus, notamment dans des domaines d'étude tels que les socio-écosystèmes, comme en témoignent des initiatives de l'OHM Pays de Bitche et la ZAM. Les Zones Ateliers (ZA), lancées initialement dans les années 2000, ont obtenu le label « Infrastructure de Recherche » en 2018, les distinguant comme une initiative unique dans leur domaine, axée principalement sur l'étude des SES. Leurs objectifs majeurs sont de répondre aux questions fondamentales de l'écologie, tout en abordant les défis sociétaux liés aux changements globaux (inee.cnrs.fr, 2018). En partenariat avec les acteurs territoriaux, ces initiatives visent à retracer les trajectoires des socio-écosystèmes afin d'évaluer leur capacité d'adaptation face aux pressions des changements globaux (Viviani, 2020). Actuellement, ce réseau est membre des plateformes européenne et internationale LTER, et regroupe 1 800 chercheurs avec 16 ZA labellisées par le CNRS.

1.1.3. Une frise chrono-systémique pour capturer la trajectoire géo-historique

La géo-histoire se révèle être un cadre essentiel pour appréhender l'évolution d'un socio-écosystème en offrant une perspective à la fois spatiale et temporelle (Giacona *et al.*, 2019).

⁶ Site web du TEEB : <https://teebweb.org/>

⁷ Image du modèle : <https://www.researchgate.net/figure/Cascade-model-Haines-Young-and-Potschin-2010>

Toutefois, la nature dynamique et évolutive de la géo-histoire représente un défi de taille pour la recherche. Face à cette complexité, les chercheurs se tournent vers des méthodes innovantes, parmi lesquelles la frise dite chrono-systémique se distingue comme un outil prometteur (Bergeret *et al.*, 2015). La frise chrono-systémique, en tant qu'outil de visualisation et de médiation, représente un "objet-frontière" qui offre une flexibilité d'appropriation par les différentes disciplines impliquées (Trompette & Vinck, 2009). Ses principes de construction reposent sur une représentation temporelle sur l'axe des abscisses, tandis que sur l'axe des ordonnées hiérarchisent les différents systèmes spatiaux emboîtés, permettant d'observer et d'analyser l'évolution dans le temps (Charpentier & Viviani, 2022). Cette structuration permet de mettre en relation divers items correspondant à des échelles spatiales ou à des processus environnementaux ou culturels, au moyen de symboles (Charpentier & Viviani, 2022). Par ailleurs, la co-construction d'une frise favorise une réflexion collective, non seulement entre chercheurs, mais également avec les acteurs des territoires (Arnaud, 2019). Et en plus de simplement juxtaposer les positions individuelles, il encourage la construction d'un espace de dialogue interdisciplinaire ouvrant la voie à la création d'une plateforme propice d'une coopération mutuelle (Origgi & Darbellay, 2010).

1.1.4. La science ouverte, essentielle à la durabilité scientifique

La science ouverte vise à partager les connaissances scientifiques auprès de la communauté scientifique et de la société dans son ensemble, dans une démarche de transfert et de partage des savoirs, tant dans leur production que dans leur utilisation, en favorisant la transparence, l'accessibilité, la collaboration et la réutilisation des données (mmsh.fr, 2022). Cette approche se positionne comme un levier crucial pour relever les défis sociétaux et environnementaux, permettant par exemple de réduire les coûts associés aux doubles collectes, ce qui facilite la réalisation de recherches supplémentaires à partir d'un même matériel scientifique (Sabrié *et al.*, 2023). Comme l'a mentionné Monsieur Antoine Petit (2019), Président-Directeur Général du CNRS : « *La science ouverte est un vrai enjeu pour la recherche... Le système actuel, si vous y réfléchissez, est quand même un peu absurde, puisque nous faisons la recherche, nous référons la recherche, nous éditons la recherche puis nous payons pour lire tout ce que nous venons de faire* ».

1.2. Présentation de la zone d'étude

1.2.1. Localisation

Le bassin versant de la Moselle est un système hydrographique étendu et transfrontalier, incluant des territoires en France, en Allemagne, au Luxembourg et en Belgique. Au sein de ce bassin, l'Orne se distingue comme l'un des principaux affluents. Il se situe sur la rive gauche de la Moselle et fait partie du bassin versant de la Zone Atelier Moselle (ZAM).

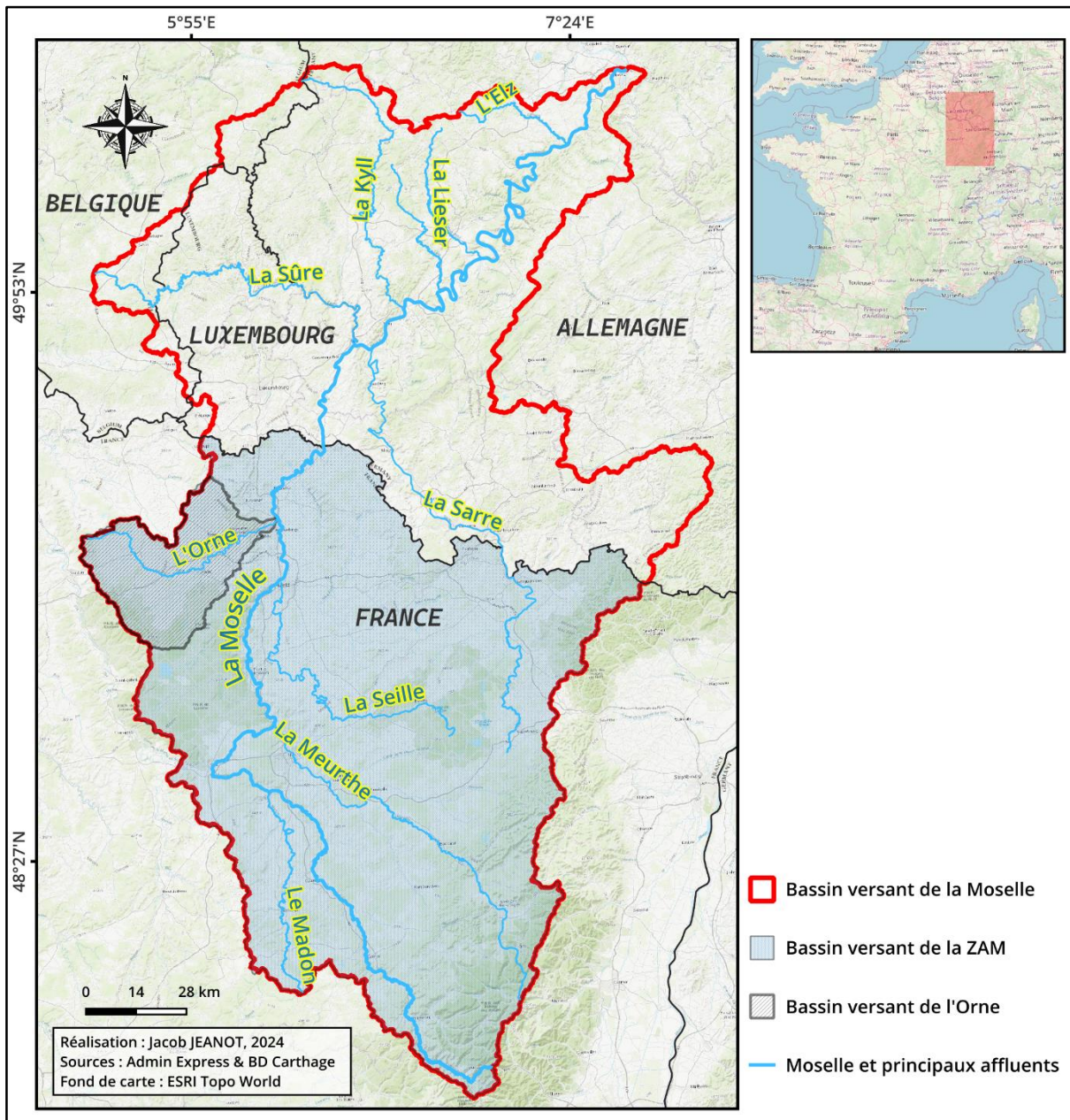


Figure 2 : Localisation du périmètre d'étude

La rivière de l'Orne traverse trois départements, à savoir : la Meuse, la Meurthe-et-Moselle et la Moselle, et couvre un total de 170 communes et 15 intercommunalités. Cette étendue géographique est d'une importance capitale sur le plan socio-environnemental, soulignant son

rôle dans la préservation des ressources hydriques et son impact significatif sur les écosystèmes et les activités socio-économiques régionales.

1.2.2. Orohydrographie

Le bassin versant de l'Orne couvre une étendue de 1 274 km² et un linéaire de 85,8 km, le classant ainsi comme le deuxième plus vaste des 12 sous-bassins versants de la Moselle Aval⁸, juste derrière celui de la Seille. La rivière prend sa source à une altitude de 320 m au pied des côtes de Meuse, à 10 km au nord-est de Verdun (vol d'oiseau), puis elle traverse la plaine de la Woëvre avant de s'encaisser dans les côtes de Moselle (Delus *et al.*, 2021). Elle suit une direction générale ouest-est et traverse plusieurs localités, dont Étain, Jarny, Auboué, Clouange, Richemont, avant de se jeter dans la Moselle à une altitude de 155 mètres.

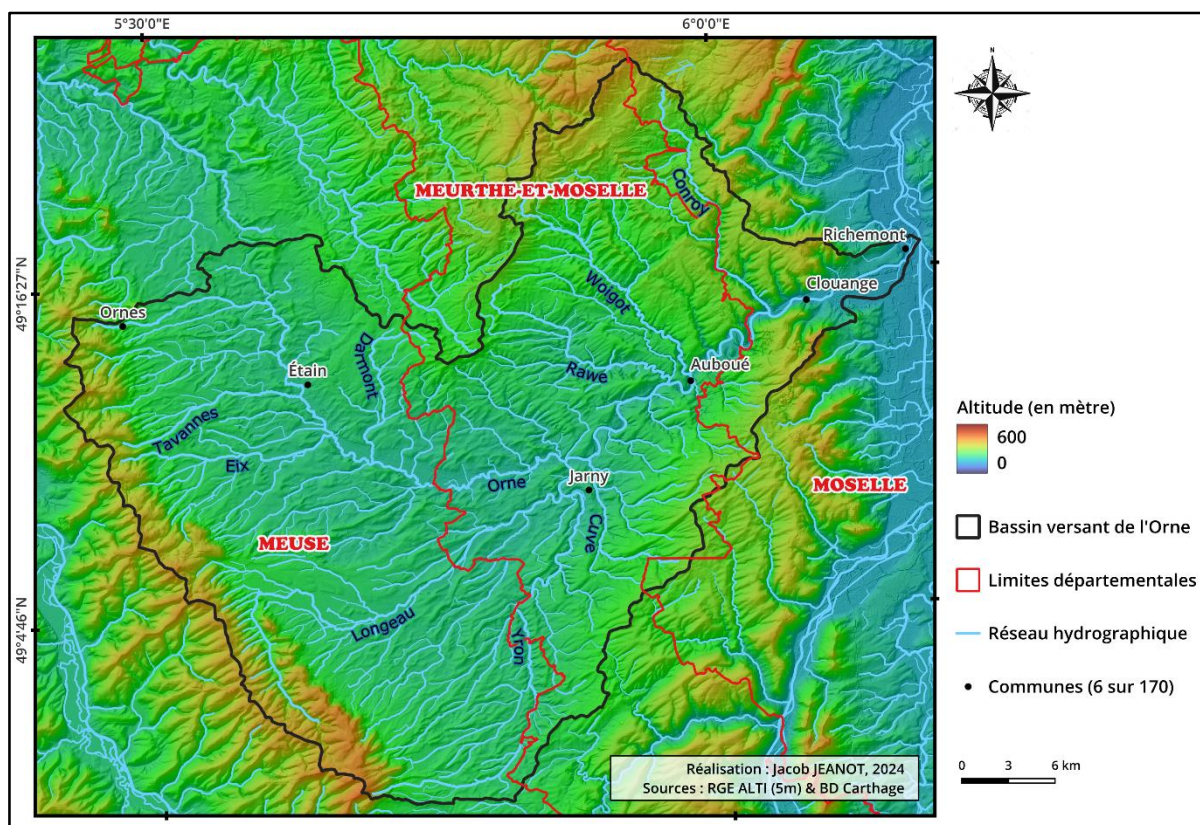


Figure 3 : Relief et principaux cours d'eau du bassin versant de l'Orne

Bien que modeste à l'initial, son débit prend de l'ampleur suite à sa confluence avec la rivière de l'Yron à Conflans-en-Jarnisy (Bonnot, 2020). Dans sa portion aval, l'Orne voit son débit augmenter grâce aux eaux d'exhaure des anciennes mines, notamment celles d'Auboué, bien que cette contribution soit aujourd'hui réduite (Kang *et al.*, 1992). Les principaux affluents de

⁸ Périmètre de la SLGRI Moselle Aval : <https://www.moselleaval.fr/UserFiles/File/cartographie/20190111>

la rivière de l'Orne⁹ sont : Yron (37 km), Longeau (37 km), Woigot (21 km), Conroy (21 km), Rawé (18 km), Eix (15 km), Darmont (14 km), Fond de la Cuve (13 km).

1.2.3. Hydro-climatologie

Le bassin de l'Orne est exposé à un climat océanique dégradé, où les vents prédominants d'ouest apportent des masses d'air maritime humide, entraînant ainsi des températures modérées. Ces régimes climatiques se traduisent par une répartition relativement uniforme des précipitations sur toute l'année, et par une amplitude thermique moyenne annuelle de 16,9°C.

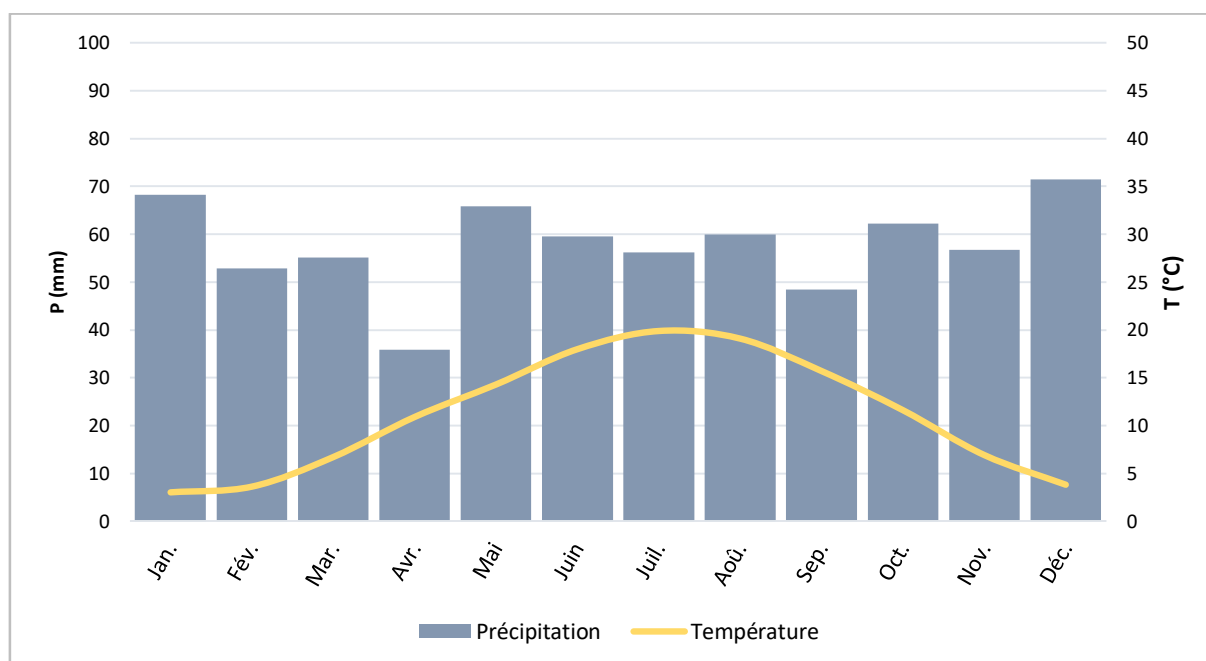


Figure 4 : Diagramme ombrothermique de Jarny (1991-2020) d'après Infoclimat¹⁰

La station météo de Jarny, située à 210 m d'altitude, enregistre une température annuelle de 11,1 °C. Le minimum est atteint en saison froide au mois de janvier avec 3,0°C, et le maximum en saison chaude, au mois de juillet avec 19,9°C. En ce qui concerne les précipitations, la moyenne annuelle est de 692 mm sur la même période. Mais cette valeur dissimule des disparités significatives sur le plan spatial (voir Figure 5). Cette diversité pluviométrique découle principalement des phénomènes de pluies orographiques affectant les reliefs exposés aux courants maritimes humides, notamment les côtes de Meuse et de Moselle (+ 950 mm), alors que les plaines situées à l'abri de ces reliefs font faces à des précipitations plus faibles, comme c'est le cas pour la plaine de la Woëvre, avec environ 700 mm de précipitations.

⁹ Site web de Sandre : https://www.sandre.eaufrance.fr/geo/CoursEau_Carthage2017/A--0060

¹⁰ Site web de l'InfoClimat : <https://www.infoclimat.fr/climatologie/normales-records/1991-2020/jarny>

Le régime hydrologique de l'Orne et de ses affluents est de type pluvial-océanique, caractérisé par des hautes eaux hivernales dues aux précipitations, et des basses eaux estivales résultant principalement de la hausse de l'évapotranspiration (Delus *et al.*, 2020).

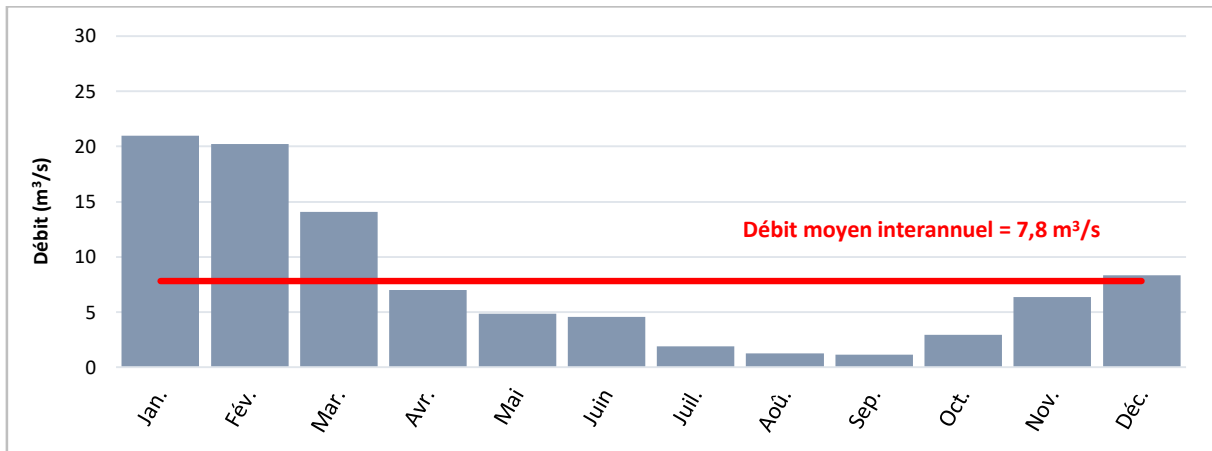


Figure 5 : Régime hydrographique de l'Orne à Moyeuvre-Grande (1968-2024) d'après EauFrance¹¹

La station hydrographique de l'Orne à Moyeuvre-Grande enregistre sur la période 1968-2024 un débit moyen interannuel de 7,8 m³/s. Le régime des écoulements montre un débit moyen mensuel maximal en janvier (21 m³/s) et minimal en septembre (1,16 m³/s).

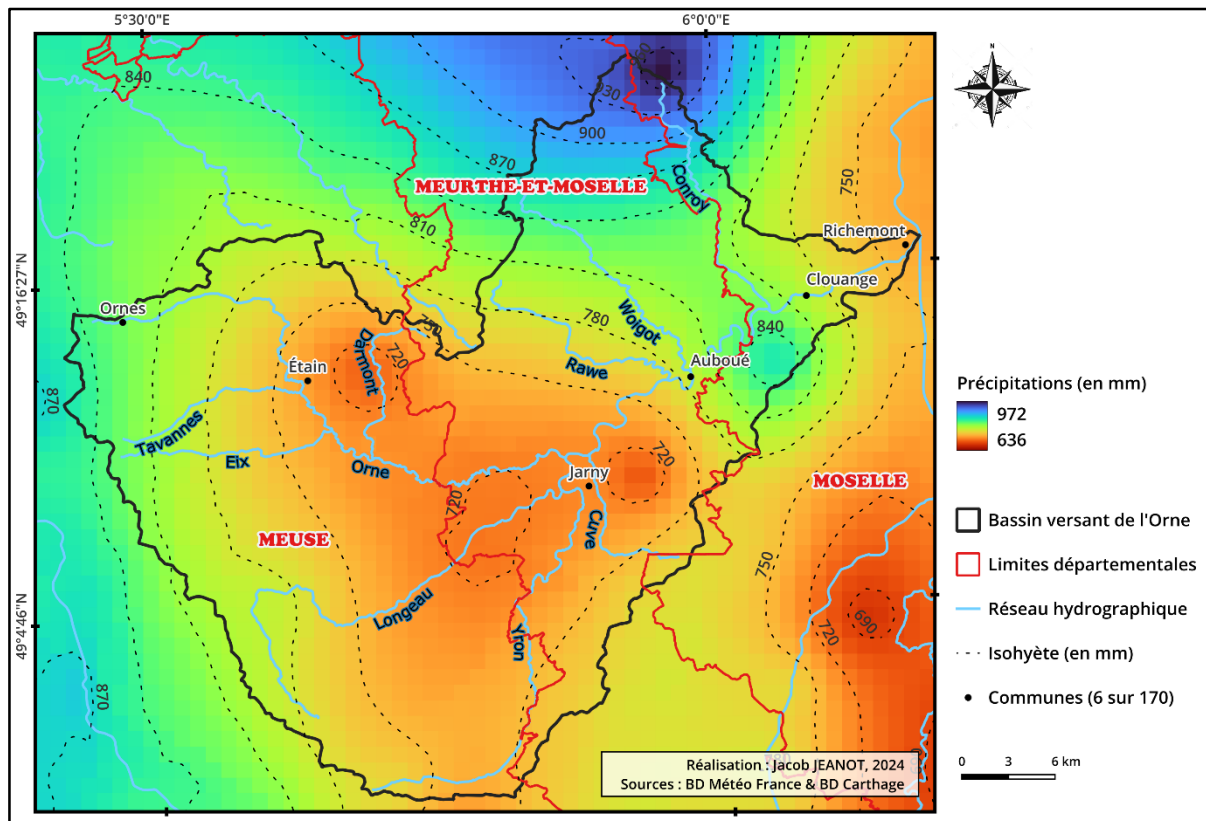


Figure 6 : Précipitations moyennes annuelles dans le bassin versant de l'Orne (2003-2022)

¹¹ Site web de l'HydroPortail : <https://hydro.eaufrance.fr/sitehydro/A8401010/synthese>

1.2.4. Occupation du sol

L'occupation du sol constitue l'un des éléments fondamentaux dans la dynamique hydrologique d'un bassin versant. L'observation de la *Figure 7* relève une dichotomie dans le paysage de l'Orne, distinguant clairement son tronçon amont de son tronçon aval. La section amont, qui englobe la plaine de Woëvre, est caractérisée par une ruralité prédominante, représentant environ 60 % de son territoire (Wenner, 2019). En revanche, la section aval, située au-delà de Jarny, en direction de la Moselle, présente une urbanisation plus prononcée. Cette transition influence directement les processus hydrologiques du bassin, affectant ainsi la gestion et la réponse des cours d'eau face aux fluctuations climatiques et aux pressions anthropiques.

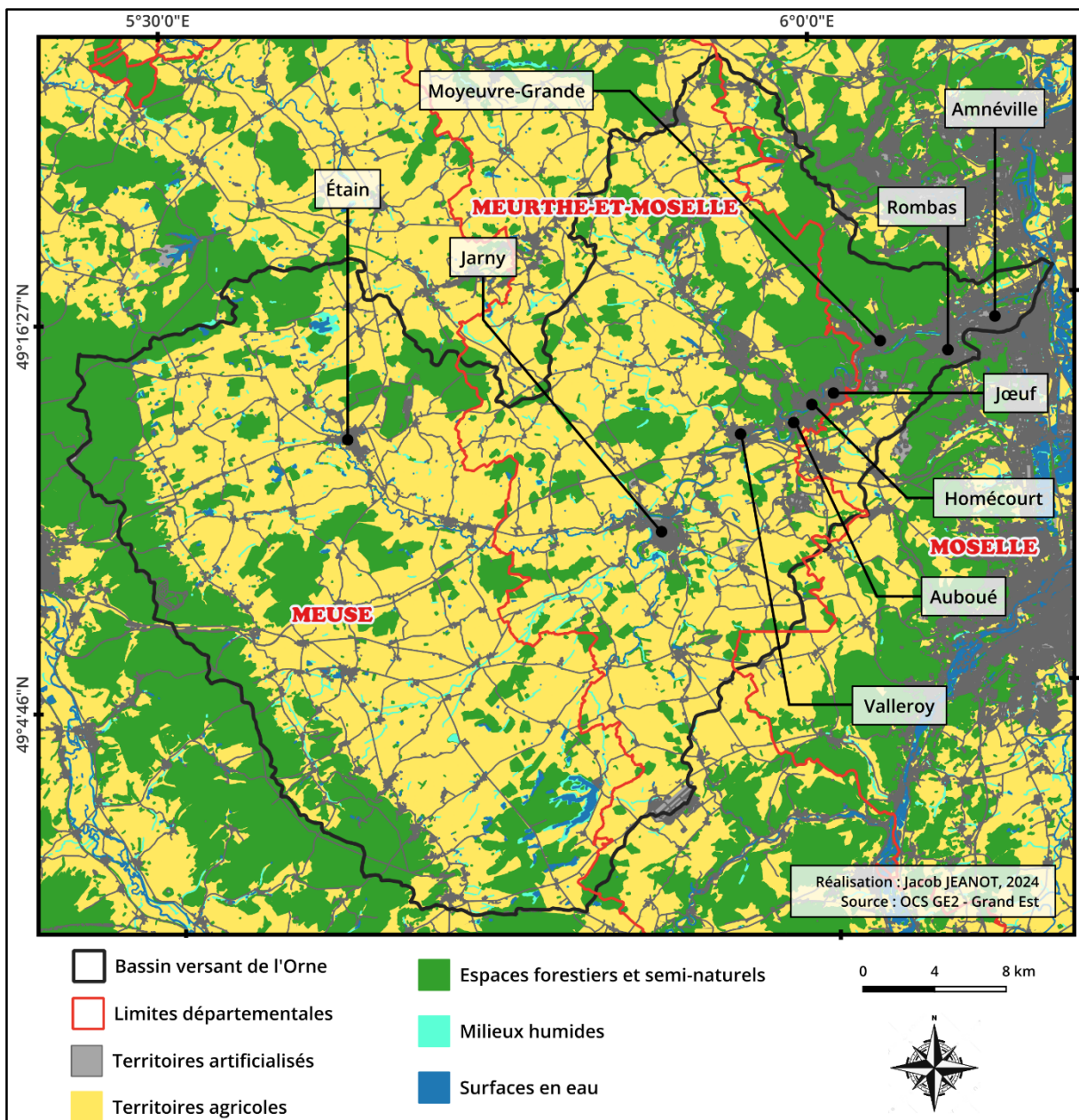


Figure 7 : Principale occupation du sol dans le bassin versant de l'Orne

A l'échelle du bassin versant de l'Orne, l'occupation du sol peut être classée en cinq grandes catégories pour chaque département, à savoir : les territoires artificialisés, les territoires agricoles, les forêts et les milieux semi-naturels, les zones humides et les surfaces en eau.

Tableau 1 : Statistique de l'occupation du sol dans le bassin versant de l'Orne en 2019 par département

		Territoires artificialisés	Territoires agricoles	Forêts et milieux semi-naturels	Zones humides	Surface en eau	TOTAL
54	Superficie en km ²	50,68	357,38	100,46	2,19	1,59	512,30
	Part de la superficie en %	9,89	69,76	19,61	0,43	0,31	100,00
55	Superficie en km ²	27,94	358,36	234,69	4,02	4,63	629,64
	Part de la superficie en %	4,44	56,92	37,27	0,64	0,74	100,00
57	Superficie en km ²	16,75	49,41	63,76	0,69	1,08	131,69
	Part de la superficie en %	12,72	37,52	48,42	0,52	0,82	100

Réalisation : Jacob JEANOT (d'après OCS GE2)

Les départements présentent une répartition de l'occupation du sol qui se caractérise par une similarité marquée, principalement avec une prévalence des terrains agricoles. En effet, ces derniers occupent une part importante du territoire, représentant environ 70 % dans le département de la Meurthe-et-Moselle et 57 % dans celui de la Meuse. Cependant, une divergence est observée dans le département de la Moselle, où les zones forestières prédominent, couvrant environ 48 % de la superficie totale, comparativement à 37 % pour les territoires agricoles. En ce qui concerne les territoires artificialisés, le département de la Meuse se distingue avec seulement 4 % malgré sa plus grande étendue dans le bassin. En revanche, les départements de la Moselle et de la Meurthe-et-Moselle affichent des proportions respectives de 13 % et 10 %. Par ailleurs, les zones humides et les surfaces en eau demeurent des composantes marginales de l'occupation du sol, représentant toutes deux moins de 1 % de la superficie totale, quel que soit le département considéré. Cette répartition reflète le schéma habituel observé dans les bassins versants, en particulier ceux de grande taille, où la tête est généralement constituée de zones rurales et forestières, tandis que l'exutoire est plus urbanisé.

1.2.5. Géologie

La géologie constitue une source précieuse d'informations sur les pratiques d'exploitation des sols et permet de mettre en évidence de manière indirecte les répercussions de l'activité humaine sur les cours d'eau. Toutefois, l'étude du bassin versant de l'Orne révèle une homogénéité géologique limitée.

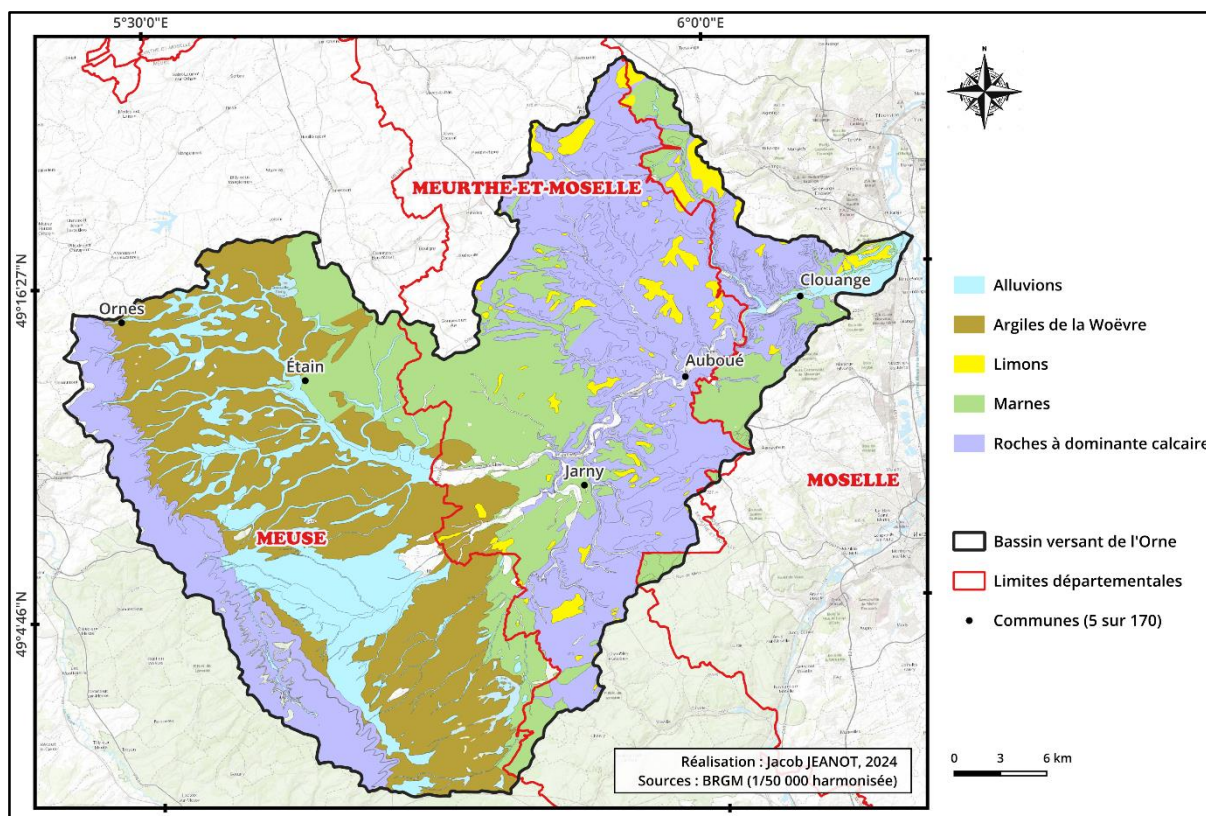


Figure 8 : Principales formations lithologiques dans le bassin versant de l'Orne¹²

Le bassin est principalement dominé par des roches calcaires en amont et en aval ; entre ces deux zones se trouvent de l'argile de la Woëvre, des marnes et des alluvions. Les calcaires présentent une perméabilité plus élevée que les argiles, ce qui peut impacter le comportement hydrologique. En revanche, les roches argileuses et marneuses se caractérisent par une faible perméabilité qui exerce une influence significative sur le régime hydrologique de la rivière, favorisant notamment les écoulements de surface lors des périodes de précipitations ainsi que les risques d'inondations.

1.2.6. Population

Sur le plan démographique, le bassin versant comptabilise au total 184 000 habitants, d'après les données du recensement de l'INSEE de 2020¹³. Toutefois, cette distribution démographique présente une asymétrie très marquée. En amont, de la Commune d'Ornés à Conflans-en-Jarnisy, le bassin est caractérisé par une faible proportion de population, ne représentant que 22 % de la population totale, soit 40 000 habitants. Tandis que la partie aval, de Conflans-en-Jarnisy à Richemont, concentre 78 % de la population, soit 144 000 habitants. Cette concentration

¹² Les formations lithologiques de la légende ont été regroupées en fonction de la dominance des roches.

¹³ Site web de l'INSEE : <https://statistiques-locales.insee.fr/#c=report&chapter=evolpop&report=r02>

démographique est particulièrement prononcée le long de la rivière (partie aval), où la moitié de la population totale, soit 93 000 habitants, y réside.

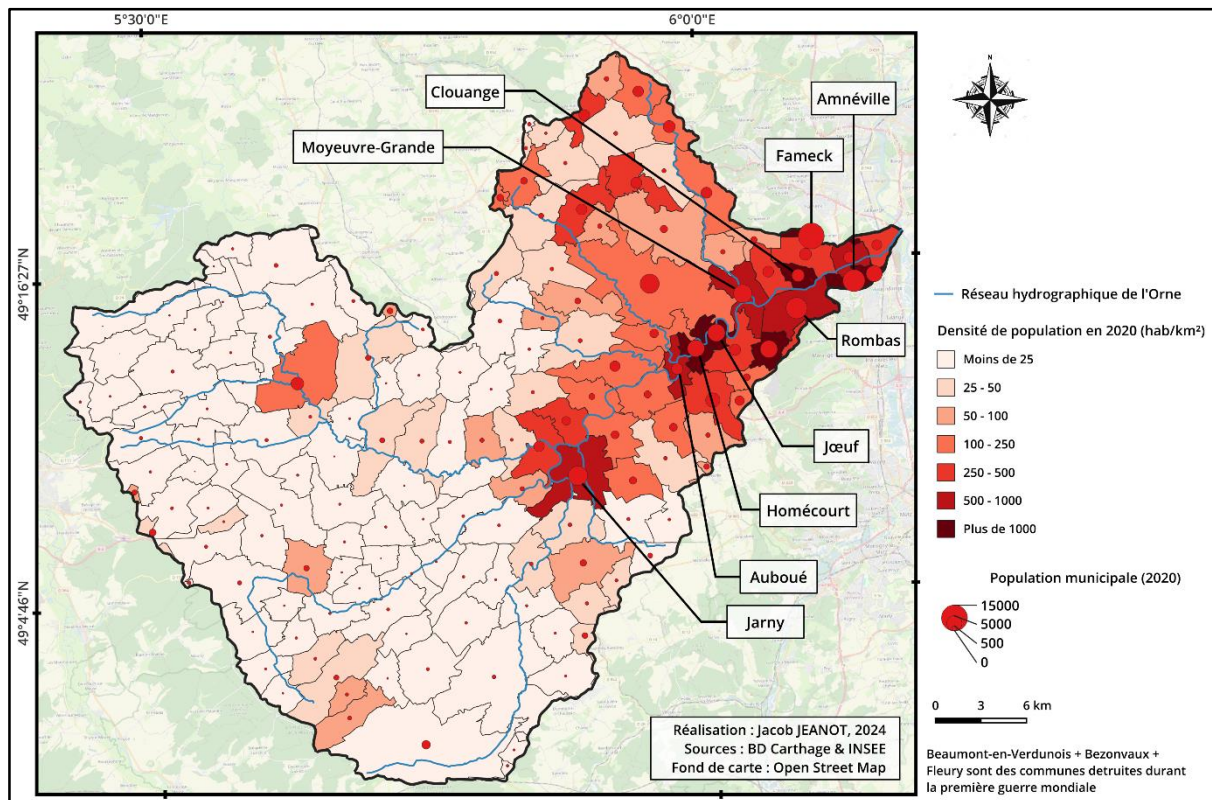


Figure 9 : Densité de la population en 2020 du bassin versant de l'Orne

Cette répartition s'accompagne de variations significatives de densité de population. En amont, la densité est relativement faible, la plupart des communes comptent moins de 50 hab/km². En revanche, dans sa partie aval, la densité est nettement plus élevée, avec des communes affichant une densité minimale supérieure à 100 hab/km², et dépassant même les 500 hab/km² dans celles traversées par la rivière de l'Orne. À titre d'exemple, à Moyeuve-Grande, elle se situe entre 500 et 1 000 hab/km² ; tandis qu'à Jœuf ou à Homécourt, la densité de population dépasse carrément les 1 000 hab/km², avec des valeurs respectives de 2 060 hab/km² et 1 384 hab/km².

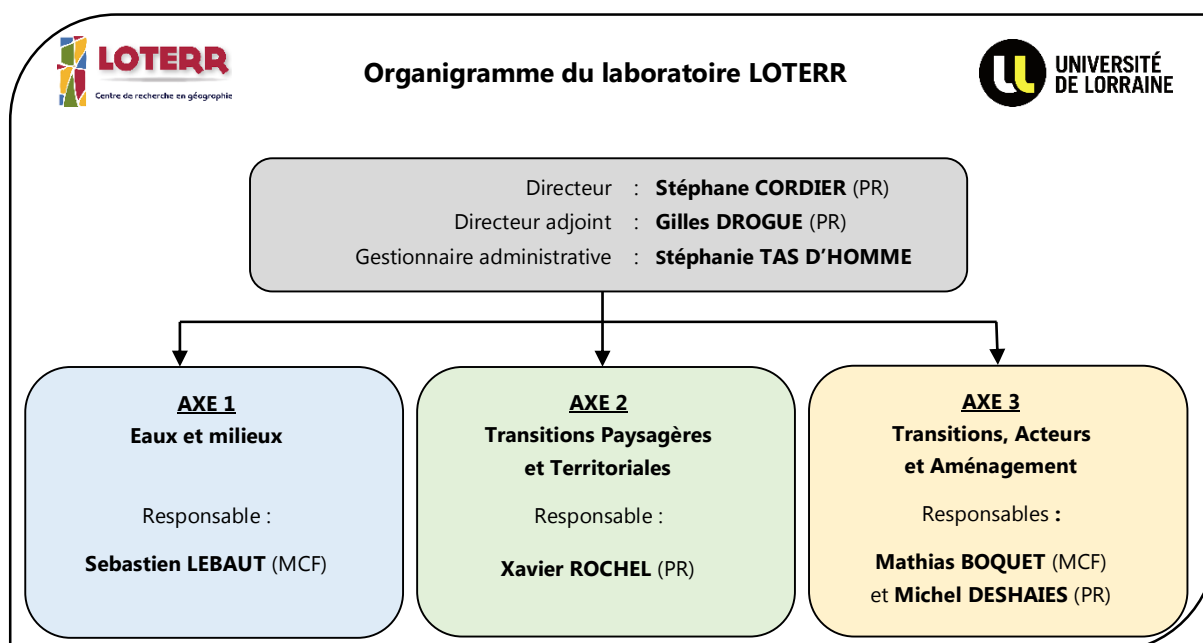
1.2.7. Activités économiques

Au cours du XX^e siècle, le bassin versant de l'Orne, notamment au niveau de sa vallée, a été le lieu d'une exploitation minière et sidérurgique d'ampleur considérable. L'essor de cette industrie fut grandement facilité par l'introduction du procédé Thomas sur le bassin ferrifère dès 1882, sous l'impulsion de « De Wendel » (Picon, 2014). Cette innovation a ouvert la voie à une expansion industrielle sans précédent, caractérisée par la prolifération d'aciéries le long du cours de la rivière, exploitant pleinement les ressources en eau pour le refroidissement des

hauts-fourneaux (Rogé & Walterspieler, 1982). L'Orne est devenu le pivot d'une activité industrielle intense, redessinant radicalement le paysage et l'économie locale. Les répercussions de cette ère industrielle demeurent palpables de nos jours, se manifestant à travers des transformations significatives sur les plans paysager, environnemental et démographique (Nasseh *et al.*, 1999) et (Chalard, 2007). Dans sa partie amont, l'activité économique est limitée par l'agriculture et le pâturage (Bonnot, 2020).

1.3. Présentation de la structure d'accueil

Le Laboratoire LOTERR est né de la fusion du CEGUM et du CERPA de Nancy le 1^{er} janvier 2013. Il se focalise sur les domaines de la géographie et de l'aménagement, et se démarque par son approche multidisciplinaire qui concilie la géographie physique avec la géographie humaine. Les chercheurs du LOTERR utilisent tous une panoplie de méthodologies, allant des mesures quantitatives aux analyses qualitatives. De plus, ils explorent les territoires sous des angles multiples, incluant leurs caractéristiques paysagères et patrimoniales, tout en examinant les interactions entre les humains et la nature. Des sujets plus larges tels que l'économie régionale sont également au cœur de leurs recherches. Le laboratoire rassemble aujourd'hui 31 chercheurs permanents et se structure en trois axes de recherches : « Eaux et milieux », « Transitions paysagères et territoriales » et « Transitions, acteurs et aménagements ». Le projet BIOM s'inscrit dans l'axe « Eaux et milieux ». Il est financé par la MSH Lorraine et vise à explorer les dynamiques socio-environnementales du bassin versant de la Moselle.



Source : Site web du laboratoire LOTERR¹⁴

¹⁴ Site web du LOTERR : <https://loterr.univ-lorraine.fr/organigramme/>

PARTIE 2 : MÉTHODOLOGIE

La première étape de cette étude a débuté par une recherche bibliographique, indispensable pour permettre une compréhension détaillée de l'évolution à différentes échelles de la trajectoire d'un socio-éco-technosystème. Par la suite, il a été nécessaire d'établir les limites temporelles de l'étude. L'année 1860¹⁵ a été retenue comme point de départ, tandis que le moment présent (2024) constitue le point final. En d'autres termes, la chronologie retrace des éléments du bassin versant de l'Orne sur les 164 dernières années. Le choix de l'année 1860 repose, d'une part, sur les contraintes temporelles liées au stage et, d'autre part, sur la disponibilité des données. En effet, en deçà de cette date, la collecte d'informations s'est avérée ardue, notamment dans les bases de données en ligne, qui ont constitué notre principal lieu de collecte d'informations. Les véritables transformations ont débuté avec la découverte du procédé Thomas associé à la sidérurgie en 1877, qui a permis une utilisation industrielle des ressources minières (Picon, 2014).

2.1. Exploitation des données géographiques et analyses statistiques

2.1.1. Représentations et séries temporelles de la population

Les données de la population utilisées proviennent de deux sources. D'une part, du site Cassini de l'École des Hautes Études en Sciences Sociales (EHESS)¹⁶, couvrant la période de 1860 à 1968, et d'autre part, de l'INSEE, pour la période de 1968 à 2020 (voir *Annexe I*). Elles ont été saisies commune par commune dans un tableur Excel. Ensuite, les données sont intégrées dans un Système d'Information Géographique (SIG) via QGIS afin de calculer et de représenter le taux de variation annuel de la population (TVAP) ainsi que la densité de population (DP). Pour ce faire, le tableur Excel est joint avec le fichier shapefile des communes du bassin versant de l'Orne, puis des opérations sont réalisées dans la calculatrice des champs de la table d'attributs.

La formule classique du taux de variation annuel de la population est :

$$TVAP \text{ (en \%)} = \frac{\text{Valeur d'arrivée} - \text{Valeur de départ}}{\text{Valeur de départ}} \times 100$$

Mais pour pouvoir comparer deux cartes ayant des périodes différentes, la formule utilisée est :

$$TVAP \text{ (en \%)} = \frac{[(\text{Valeur d'arrivée} - \text{Valeur de départ}) / (\text{Valeur de départ})] \times 100}{(\text{Année d'arrivée} - \text{Année de départ})}$$

¹⁵ Sauf pour l'étude de la morphologie de la rivière de l'Orne et l'occupation des sols, qui commence vers 1830 car les feuilles des cartes d'état-major dans ce secteur datent de cette période.

¹⁶ Site web de Cassini EHESS : <http://cassini.ehess.fr/fr/html/#>

La formule de la densité de population est :

$$DP \text{ (en hab/km}^2\text{)} = \frac{\text{Nombre d'habitants}}{\text{Superficie (en km}^2\text{)}}$$

2.1.2. Analyse diachronique du lit mineur et indice de sinuosité

À l'exception de cas particuliers¹⁷, il est aujourd'hui largement reconnu au sein de la communauté scientifique que les cours d'eau adoptent rarement un tracé naturellement rectiligne (Wiederkehr *et al.*, 2012). Par conséquent, la présence d'un tel tracé est fréquemment considérée comme un indicateur d'intervention humaine (appelée rectification), synonyme d'altérations hydromorphologiques et écologiques (Tamisier *et al.*, 2017). Le calcul de l'indice de sinuosité (SI) se révèle alors pertinent pour évaluer l'impact des aménagements réalisés. Il se définit comme le rapport entre la longueur du talweg (représentant la ligne centrale du cours d'eau) et la distance en ligne droite entre ses points extrêmes (vol d'oiseau), et peut être exprimé de la manière suivante :

$$SI = \frac{\text{Longueur du talweg}}{\text{Distance entre extrémités}}$$

Sa valeur est supérieure ou égale à 1. Plus précisément, on estime que :

- $SI < 1,05$: le cours d'eau est quasiment rectiligne ;
- $1,05 \leq SI < 1,25$: le cours d'eau est sinueux ;
- $1,25 \leq SI < 1,5$: le cours d'eau est très sinueux ;
- $SI \geq 1,5$: le cours d'eau est méandriforme.

Par ailleurs, l'analyse diachronique s'opère généralement à partir de cartes et/ou de plans. La précision cartographique doit être aussi précise que possible pour réduire l'erreur d'interprétation. Dans le cadre de notre étude, les ressources nécessaires sont mises à la disposition par le LOTERR. Elles ont été préalablement géoréférencées (erreur moyenne quadratique $\leq 3,8$ pour les 48 images) et vectorisées. À l'origine, ces données sont issues des cartes d'État-Major, ainsi que des photographies aériennes de l'IGN pour les années 1928, 1955 et 1982. Cependant, ces données d'écoulement du chenal sont sous forme de polygone, ce qui nécessite leur transformation en polyligne pour permettre les calculs requis. À cette fin, nous avons mis en œuvre un processus géométrique (appelé skeleton) visant à obtenir la ligne centrale le long du polygone. L'extension « HCMGis » de QGIS a été utilisée pour automatiser cette étape de traçage, permettant ainsi une conversion efficace des données.

¹⁷ Les cas particuliers : <https://professionnels.ofb.fr/sites/default/files/chap5-1.pdf>

2.1.3. Caractérisation de l'occupation du sol

Les données géographiques utilisées pour caractériser l'évolution de l'occupation du sol proviennent de deux sources différentes : de l'espace professionnel de l'IGN¹⁸ pour les cartes d'État-Major (≈ 1830) et les photographies aériennes (1928, 1955, 1982), et de l'Occupation du Sol à Grande Échelle de la Région Grand Est (OCS GE2)¹⁹ pour les couches de 2021. À ce stade, une partie des données est déjà géoréférencée, notamment les cartes d'État-Major²⁰ et les orthophotographies de 1955 (BD Ortho Historique)²¹. Quant aux données de l'OCS GE2, elles sont à la fois géoréférencées et vectorisées, les rendant ainsi directement exploitables. Ainsi, les cartes d'État-Major et les orthophotographies de 1955 ne nécessitent plus que la vectorisation ; tandis que les images aériennes de 1928 et de 1982 requièrent à la fois un géoréférencement et une vectorisation.

2.1.3.1. Géoréférencement

Pour garantir la qualité d'un géoréférencement, il est essentiel de sélectionner des paramètres de transformation optimaux afin de minimiser l'erreur finale. Les photographies aériennes de l'IGN exigent un bon positionnement dans l'espace, ce qui nécessite l'application d'une transformation de type « Thin Plate Spline ». Cette méthode doit être accompagnée par plusieurs points d'amer (calage), voire jusqu'à une centaine selon le relief, répartis de manière relativement dispersée sur la totalité d'image raster.

La méthode de ré-échantillonnage par le plus proche voisin est à privilégier ici, étant donné que ces images ont une résolution d'environ 1 mètre par pixel, ce qui évite la nécessité de modifier les statistiques de l'image. Ensuite, vient l'étape d'attribution des coordonnées géographiques permettant de replacer spatialement l'image raster. Dans notre cas, le Système de Coordonnées de Référence (SCR) utilisé est le « Lambert 93 ». Enfin, des points de repère similaires sont identifiés avec la plus grande précision possible entre le raster à calquer et une couche réelle provenant d'un serveur Web Mapping Services (WMS) de l'IGN. À cette fin, nous nous appuyons sur la photographie aérienne actuelle.

Le résultat final s'apprécie par sa superposabilité avec les autres couches SIG, mais aussi par son erreur quadratique moyenne (EMS), qui doit être la plus faible possible (voir *Annexe 2* et

¹⁸ Site web de Remonter le Temps de l'IGN : <https://remonterletemps.ign.fr/>

¹⁹ Site de web de l'OCS GE – Grand Est : <https://www.datagrandest.fr/portail/fr/projets/occupation-du-sol>

²⁰ Scan historique des Cartes d'État-Major : <https://geoservices.ign.fr/scanhisto#telechargementscanem10k>

²¹ BD ORTHO de 1945 et 1965 : <https://geoservices.ign.fr/bdorthohisto>

Annexe 3). Cette valeur provient des erreurs de chaque point (appelés résidus) :

$$EMS = \sqrt{\frac{R_1^2 + R_2^2 + R_3^2 + \dots + R_n^2}{nb R}}$$

avec R1, R2, R3 le résidu du point 1, 2 et 3 ; et nb R le nombre de résidus.

2.1.3.2. Vectorisation

Une fois l'étape du géoréférencement achevée, la vectorisation peut débuter. Cette étape consiste à transformer les objets géographiques présents sur une image raster en objets géométriques. Dans notre cas, nous optons pour une approche manuelle, découpée en trois étapes distinctes :

Préparation : Cette phase implique la structuration minutieuse des fichiers, comprenant leur dénomination et une période clairement définie et facilement compréhensible.

Vectorisation : Elle implique la création de polygones superposés aux objets à vectoriser. Cette étape exige une précision maximale et est réalisée à une échelle de 1:800, correspondant à la limite de pixellisation. L'activation impérative de l'option d'accrochage dans le logiciel QGIS est nécessaire pour éviter les erreurs d'espacement, telles que les zones vides. Elle commence par l'extraction des couches de l'OCS GE2 déjà existantes, qui nous servent de base pour la digitalisation des photos aériennes. À partir de 2021, nous procédons de manière rétrograde : de 2021 à 1982, de 1982 à 1955, et de 1955 à 1928. La classification adoptée lors de cette opération comprend trois catégories : territoires artificialisés, territoires agricoles, et territoires forestiers. Pour ce qui concerne les bâtiments, la BD Topo²² de l'IGN nous sert cette fois-ci de référence. Nous effectuons également de manière rétrograde pour les bâtis. Cependant, les superficies de ces bâtiments ne sont pas prises en compte dans la représentation statistique ; elles sont utilisées uniquement à des fins visuelles, car elles sont déjà incluses dans les territoires artificialisés. Cela permet d'éviter de biaiser les résultats.

Contrôle et validation : Cette étape commence par un contrôle visuel, suivi d'une validation automatisée à l'aide de l'outil « Vérifier la géométrie ». Cela permet de détecter d'éventuels polygones imbriqués ou non clos, pour assurer la qualité et l'intégrité des données vectorielles produites.

²² BD TOPO IGN : <https://geoservices.ign.fr/bdtopo>

2.2. Frise chrono-systémique

Les éléments de notre frise s'inspirent principalement de la frise réalisée par Viviani (2020), et suivent légèrement le modèle de Bretagnolle *et al.* (2019). Ce dernier, bien que pertinent, n'est pas applicable à l'étude d'un SES sur une durée aussi longue (Pinault, 2021), car les modes de gestion ont considérablement évolué depuis 1860. Ainsi, la version proposée sur notre frise pour modéliser la trajectoire du bassin de l'Orne comprend les éléments suivants :

- Contraintes externes (événements historiques, lois nationales et supranationales...);
- Aménagements industriels ;
- Acteurs et pratiques (modèle social) ;
- Aménagements proche du cours d'eau ;
- Utilisations et services apportés par l'Orne ;
- Paysages, aléas et autres.

Le protocole de construction de la frise comprend 4 étapes :

2.2.1. Collecte de données

Les données quantitatives et qualitatives hétérogènes décrivant le socio-éco-technosystème, notamment l'évolution des interactions humain-nature, sont collectées à partir de diverses sources, telles que la littérature grise, la littérature scientifique, les cartes, etc., et ce, à travers différentes méthodes comme la bibliographie, la cartographie, etc., auprès de diverses bases de données, des laboratoires de recherches et les agences partenaires (*ci-dessous*).

2.2.1.1. Base de données en libre accès

Une collecte de données a été entreprise à partir des bases de données accessibles sur internet. Parmi les sites examinés, faisant partie d'une liste non exhaustive où une quantité significative de données a été recueillie, se trouvent à : l'Académia, l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse, Carmen, DATA Grand Est, DOREL, DREAL, la Fédération Nationale de la Pêche en France, l'Etablissement Public Foncier de Grand Est, l'Hydroportail, Gallica, Gesteau, l'Office Français de la Biodiversité, l'Observation Terre et Environnement de Lorraine, ainsi que les PPR, PLU, et VNF. Cette démarche illustre notre engagement pour l'obtention d'un ensemble diversifié de données pertinentes, contribuant ainsi à une analyse méthodique des multiples aspects des interactions Hommes-Milieus.

2.2.1.2. Base de données du LOTERR

En plus des données cartographiques, le LOTERR de Montigny-lès-Metz dispose de jeux de données sur les événements des séries temporelles. Il a fourni la liste de toutes les inondations

et sécheresses qui se sont déroulées sur le bassin versant de l'Orne. Le laboratoire dispose aussi d'un ensemble de données plus large comprenant les grands aménagements qui se sont réalisés sur le site de l'étude, ainsi que les infrastructures de franchissement (ponts, seuils, barrages, etc.), les moulins construits et les curages réalisés depuis 1860.

2.2.1.3. Base de données des autres laboratoires

Le laboratoire LIEC, en tant que membre du projet BIOM, joue un rôle crucial dans la collecte et la fourniture de données. Outre la sortie de terrain réalisée entre LOTERR, ICUBE et LIEC, ce dernier a fourni des données couvrant divers aspects des activités industrielles, des aménagements réalisés, des réglementations en vigueur et de la gestion des eaux usées. De plus, ils ont partagé des documents essentiels pour mieux comprendre l'histoire de l'Orne. Sans oublier les échanges riches en informations dans leurs locaux.

2.2.2. Encodage de données

Les données collectées sont ensuite encodées dans un tableur au format CSV (séparateur point-virgule) sur un tableau comportant huit entrées (voir *Figure 10*) :

- **NEWLINE** : pour passer à la ligne dans la frise ;
- **THEME** : pour entrer les différentes catégories ;
- **NAME** : pour nommer les événements ;
- **START** et **END** : pour dater le début et la fin de chaque événement ;
- **STYLE** : pour spécifier le style de présentation de chaque événement ;
- **REFERENCES** : pour indiquer la source bibliographique de chaque événement ;
- **COMMENTS** : pour plus d'explications sur l'évènement.

NEWLINE	THEME	NAME	START	END	STYLE	REFERENCES	COMMENTS	
83	0	Industrielle	Usine à gaz abattoir (II)	19100101	19100101	^ red text	LIEC	Ouverture : Abattoir (Homécourt)
84	0	Industrielle	SOLPA (II)	19280101	19280101	^ red text	LIEC	Ouverture : SOLPA (Homécourt)
85	0	Industrielle	C. Thermique (RCII)	19500101	19500101	^ red text	LIEC	Ouverture : Centrale thermique (Richemont)
86	0	Industrielle	C. béton (J)	19670101	19670101	^ red text	LIEC	Ouverture : Centrale à béton (Joëuf)
87	0	Industrielle	Abattoir SOLPA (II)	19800101	19800101	v red text	LIEC	Fermeture : Abattoir et SOLPA
88	0	Industrielle	C. Thermique (RCII)	20080101	20080101	v red text	LIEC	Fermeture : Centrale thermique à Richemont
89	1	ELEMENT	ACTEURS / PRATIQUES	18400101	20300101	class text	x	x
90	1	SOUS-ELEMENT	ACTEURS	18400101	18600101	quad white text	x	x
91	0	Sociosphère	Société des pêcheurs à la ligne de Joëuf, Homécourt, Auboué, et environs	19240101	20300101	quad socio text	https://www.pecheursdelorne54.fr/la-Association	Société des pêcheurs à la ligne de Joëuf, I
92	0	Sociosphère	AAPPMA - Les Pêcheurs de l'Orne	19840101	20300101	quad socio text	https://www.pecheursdelorne54.fr/do-AAPPMA	Les Pêcheurs de l'Orne
93	1	Pollution	SI pour le curage de l'Orne	19490101	20300101	quad magenta text	LIEC	Syndicat Intercommunale pour le curage de l'Orne
94	0	Hydrosystème	SI pour l'Assainissement de l'Orne Aval (54)	19730101	20300101	quad blue text	https://www.orne-aval.fr/syndicat/his-SI	pour l'Assainissement de la Vallée de l'Orne : Pour les co
95	0	Hydrosystème	SI d'Assainissement de la Vallée de l'Orne (57)	20110101	20300101	quad blue text	https://sivo.com/le-syndicat/historiq	SI d'Assainissement de la Vallée de l'Orne : Pour les co
96	1	Sociosphère	Etablissement Public Foncier Lorraine (Orne Frensch)	19730101	20300101	quad socio text	http://www.epfl.fr/PDF/FichesEPF/Lor	Etablissement Public Foncier Lorraine
97	1	Biosphère	Fédération des Conservations d'Espaces Naturels S.V.E.O	19890101	20300101	quad bio text	https://www.cen-lorrain.fr/fr/	qui son Fédération des Conservatoire d'espaces naturels
98	1	Biosphère	AS.É.O	20180101	20300101	quad bio text	https://comeris.fr/csci.php?eciv=200	Syndicat de valorisation écologique de l'Orne
99	0	Sociosphère	Asso : Au fil de l'Orne	19990101	20070101	quad socio text	https://www.af3v.org/les-voies-vertes	Association : Au fil de l'Orne
100	1	Transverse	ZAM	20000101	20300101	quad cyan text	LOTERR	Atelier : ZAM
101	0	Transverse	Au niveau de l'Orne	20100101	20300101	quad cyan text	LIEC	Atelier : ZAM - Orne
102	1	Transverse	GISFI	20020101	20301010	quad cyan text	https://gisfi.univ-lorrain.fr/fr/accueil/	x
103	1	SOUS-ELEMENT	PRATIQUES	18400101	18600101	quad white text	x	x
104	0	Industrielle	PPRM	20110101	20110101	* red text	https://www.jarny.fr/urbanisme/plan/d	Plan de Prevention de Risque Minier
105	0	Hydrosystème	PPRI	20050101	20060101	* blue text	https://www.jarny.fr/urbanisme/plan/d	Plan de Prevention de Risque Inondation
106	0	Sociosphère	PLU	19780101	19780101	* socio text	https://www.jarny.fr/wp-content/uplo	Plan local d'Urbanisme
107	0	Biosphère	SMMA	20170101	20170101	* bio text	https://www.moselleaval.fr/fr/le-synd	Syndicat Mixte de la Moselle Aval
108	1	Biosphère	Réserve	20060101	20060101	* bio text	https://inpn.mnhn.fr/telechargement/Etang-d	Amel - 2006 ; Grand Etang de La Chaussée - 200
109	0	Biosphère	ZH : Petite Woivre	19910108	19910108	* bio text	https://inpn.mnhn.fr/telechargement/A	Site Ramsar : Hangs De La Petite Woivre (Zone Humid

Figure 10 : Extrait du tableur utilisé pour créer la frise

Ainsi, le tableur joue le rôle d'interface entre l'utilisateur et le logiciel. L'utilisateur peut exploiter les fonctionnalités de la suite Office pour préparer et modifier les données à sa convenance. Il peut rajouter d'autres colonnes pour inclure des coordonnées géographiques. Cependant, ces colonnes ne sont pas actuellement prises en compte dans la visualisation.

2.2.3. Représentation et analyse

Elle est réalisée par le logiciel ZATimeline²³. Ce choix repose principalement sur sa grande adaptabilité, puisqu'il offre la possibilité d'effectuer des modifications directement dans le tableur, ce qui permet une flexibilité accrue pour ajuster la frise.

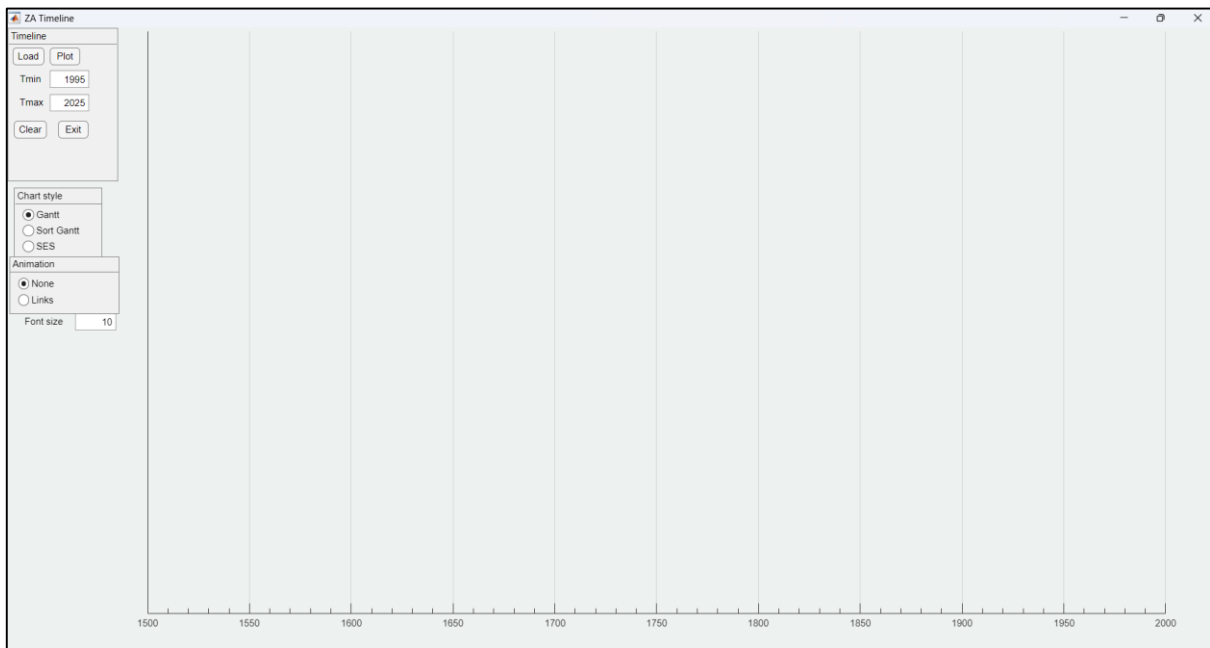


Figure 11 : Interface du logiciel ZATimeline

Parmi les représentations disponibles, nous avons le choix entre le diagramme de Gantt standard et sa variante triée par date. Ces deux schémas tracent les données de manière séquentielle, créant ainsi une ligne chronologique. Cependant, pour notre usage spécifique, nous opterons pour la représentation dite « SES », qui se distingue par sa compacité, permettant l'affichage de plusieurs données sur une même ligne. Enfin, vient le volet de l'analyse, qui consiste à examiner la frise tracée. Cette observation peut révéler la nécessité de réorganiser les données, puis de retracer la frise pour affiner l'analyse.

2.3. La géohistoire à travers la cartographie narrative

La narration combinée à des cartes interactives peut constituer une puissante force d'influence, d'inspiration et de sensibilisation, car elle améliore la compréhension et procure une expérience

²³ Logiciel conçu par Isabelle Charpentier.

immersive. Dans cette perspective, l'outil utilisé est le "StoryMaps", intégré au système ArcGIS Online²⁴. Il offre une approche remarquable pour créer des récits captivants en utilisant des cartes SIG qui enrichissent et éclairent l'histoire. En exploitant de manière professionnelle les éléments visuels, textuels et multimédias contenus dans l'outil, il permet de donner vie à des récits numériques dynamiques qui, non seulement, informeront mais aussi impacteront les publics et les acteurs du territoire. Par ailleurs, les thèmes modernes prédéfinis disponibles facilitent l'harmonisation du contenu dans un récit cohérent et esthétiquement agréable, simplifiant ainsi sa publication et son partage. En explorant des lieux, des événements et des tendances via des cartes personnalisées, cette approche offre une nouvelle dimension à la façon dont nous communiquons avec l'information géographique.

2.4. Dépôt de données

Au cours de cette étude, un grand nombre de données a été collecté et produit. Conformément aux objectifs du projet BIOM, qui prône la science ouverte, ces données sont déposées sur une plateforme dédiée à cet effet. Les principes guidant ce dépôt s'inspirent des principes « **FAIR** », élaborés en 2014 et publiés en 2016. Ils sont devenus aujourd'hui une norme largement adoptée par les organismes de financement (Wilkinson *et al.*, 2018).

2.4.1. Findable (facile à trouver)

La première étape du processus (F du FAIR) consiste à développer de bonnes pratiques concernant les données et les métadonnées associées. Elles doivent être facilement accessibles à la fois par les machines et par les humains. Pour cela, trois éléments sont pris en compte :

- **Métadonnée** : Elle constitue un élément essentiel pour décrire une donnée ou un jeu de données, facilitant ainsi la recherche par l'association de mots-clés. Son rôle principal est de fournir une description détaillée de la donnée concernée, incluant diverses informations telles que le titre, le nom de l'auteur, la date de publication, ainsi que les protocoles associés (méthode d'obtention, outil utilisé, paramètre choisi, données associées, degré d'incertitude), etc. Lors du dépôt, il est recommandé de fournir un maximum d'informations plutôt que pas assez. En effet, une métadonnée riche facilite non seulement la recherche, mais également la compréhension par les utilisateurs futurs (scienceouverte.univ-grenoble-alpes.fr, 2020).

²⁴ La création d'un compte ArcGIS Online est gratuite, mais elle est sujette à des limitations. Dans notre cas, afin de bénéficier de toutes les fonctionnalités de l'outil, nous avons opté pour l'identification via l'Université de Lorraine.

- **Persistant Identifier (PID) :** Il s'agit d'un mécanisme conçu pour attribuer de manière stable, unique et pérenne une identité à une ressource grâce à un lien hypertexte. Le Digital Object Identifier (DOI) est le plus utilisé, bien que d'autres systèmes tels que Handle, ARK, etc., existent (Vasile *et al.*, 2020). Cette identification assure la possibilité de retrouver la ressource à tout moment, même en cas de modification de l'adresse URL. De plus, elle facilite la citation et peut être utilisée comme élément de référence bibliographique. Il est également crucial de mentionner le PID dans les métadonnées, étant donné que ces dernières décrivent un jeu de données et sont souvent stockées dans des fichiers séparés.
- **Entrepôt de données :** Il s'agit d'un espace spécifiquement dédié au stockage des données en vue de leur réutilisation ultérieure. Il constitue également comme un lieu de recherche permettant de découvrir d'autres ensembles de données disponibles. En d'autres termes, les entrepôts de données sont des services Web qui offrent des fonctionnalités d'hébergement, de recherche et de téléchargement.

2.4.2. Accessible

La deuxième étape du processus (A du FAIR) vise à simplifier l'accès aux données et métadonnées en informant les utilisateurs futurs sur les conditions d'accès (ouvertes ou restreintes). L'utilisation d'un protocole de communication standardisé, tel que le HTTP ou le FTP, est préconisée, car il fonctionne avec plusieurs logiciels et garantit ainsi un accès plus large. Cependant, dans certains cas, une procédure d'authentification (par exemple, un compte) est nécessaire, surtout pour les jeux de données non accessibles publiquement pour des raisons légitimes telles que la confidentialité des données personnelles ou la sécurité nationale. Pour les données implémentables de manière universelle, une telle procédure n'est pas nécessaire. Malgré cela, il est essentiel de rendre les métadonnées accessibles même pour les données à accès restreint afin de signaler l'existence de ces données.

2.4.3. Interopérable

La troisième étape du processus (I du FAIR) vise à faciliter l'intégration des données à d'autres ensembles de données, ce qui requiert leur interopérabilité avec des applications ou des processus de travail, facilitant ainsi l'analyse, le stockage et le traitement. Pour cela, l'utilisation d'un langage formel (CSV pour les tableaux, GeoTIFF pour les rasters, SHP...) est requise. De plus, les données et les métadonnées doivent impérativement utiliser des vocabulaires contrôlés

prédéfinis conformes aux principes FAIR, ou bien s'appuyer sur l'utilisation des vocabulaires dans les Thésaurus²⁵.

2.4.4. Réutilisable

La quatrième et dernière étape du processus (R du FAIR) vise à maximiser la réutilisation des données, ce qui représente l'aboutissement des principes FAIR. Les efforts déployés sur les points précédents sont cruciaux pour atteindre cet objectif. Il est donc essentiel que les données et les métadonnées soient bien décrites, afin de permettre leur reproduction et/ou leur combinaison dans divers contextes pour des recherches futures ou d'autres utilisations telles que l'enseignement, tout en spécifiant les exigences en matière d'utilisation (licence).

²⁵ Un thésaurus est un répertoire structuré (et normalisé) de mots-clés utilisés pour l'indexation de documents et la recherche de ressources documentaires.

2.5. Chronogramme de stage

Mars

- 18/03/2024 : Arrivée au LOTERR + Familiarisation avec les missions
- 19/03/2024 : Début de travail de collecte de données à l'échelle du bassin de la Moselle
- 26/03/2024 : Réunion de projet BIOM entre LOTERR / LIEC / ICUBE
- 28/03/2024 : Élaboration d'une première frise basée sur les données du LIEC

Avril

- 01/04/2024 : Début de travail de collecte de données à l'échelle du bassin de l'Orne
- 05/04/2024 : Début de travail sur les représentations carto. et séries temporelles
- 09/04/2024 : Visite au laboratoire LIEC de Nancy (Vandoeuvre-lès-Nancy)
- 24/04/2024 : Sortie sur l'Orne avec LOTERR / LIEC / ICUBE
- 29/04/2024 : Réunion de mise au point
- 30/04/2024 : Participation au webinaire dans le cadre de la formation carto. narrative

Mai

- 02/05/2024 : Conception d'une deuxième frise basée sur les données collectées
- 03/05/2024 : Début de travail sur l'analyse diachronique du lit mineur
- 06/05/2024 : Rencontre avec Simon Edelblutte à Nancy
- 14/05/2024 : Descente sur le bassin versant de l'Orne avec Simon Edelblutte
- 20/05/2024 : Début de travail sur l'analyse de l'évolution de l'occupation du sol
- 22/05/2024 : Présentation de la frise à la Zone Atelier Moselle
- 24/05/2024 : Réunion de projet BIOM entre LOTERR / LIEC / ICUBE / SMMA

Juin

- 03/06/2024 : Réunion de mise au point
- 17/06/2024 : Réunion de mise au point
- 18/06/2024 : Début de travail sur la cartographie narrative
- 24/06/2024 : Dépôt du rapport livrable pour la soutenance
- 28/06/2024 : Échange avec Emmanuelle Montarges (préparation à la Fête de la Science)

Juillet

- 02/07/2024 : Présentation du mémoire à l'Université de Lorraine (Nancy)
- 03/07/2024 : Début de travail sur le poster à présenter lors de la Fête de la Science
- 05/07/2024 : Début de travail sur le dépôt des données
- 26/07/2024 : Fin du stage, des missions et rendu des données

PARTIE 3 : RÉSULTATS & DISCUSSION

3.1. Des évolutions démographiques contrastées entre 1861 et 2020

La dynamique démographique du bassin versant de l'Orne, représentée en bleu, entre 1861 et 2020 (voir Figure 12), montre les fluctuations induites par les séries d'événements historiques et de changements socio-économiques. Cette évolution ne se déroule pas au même rythme tout au long de cette période.

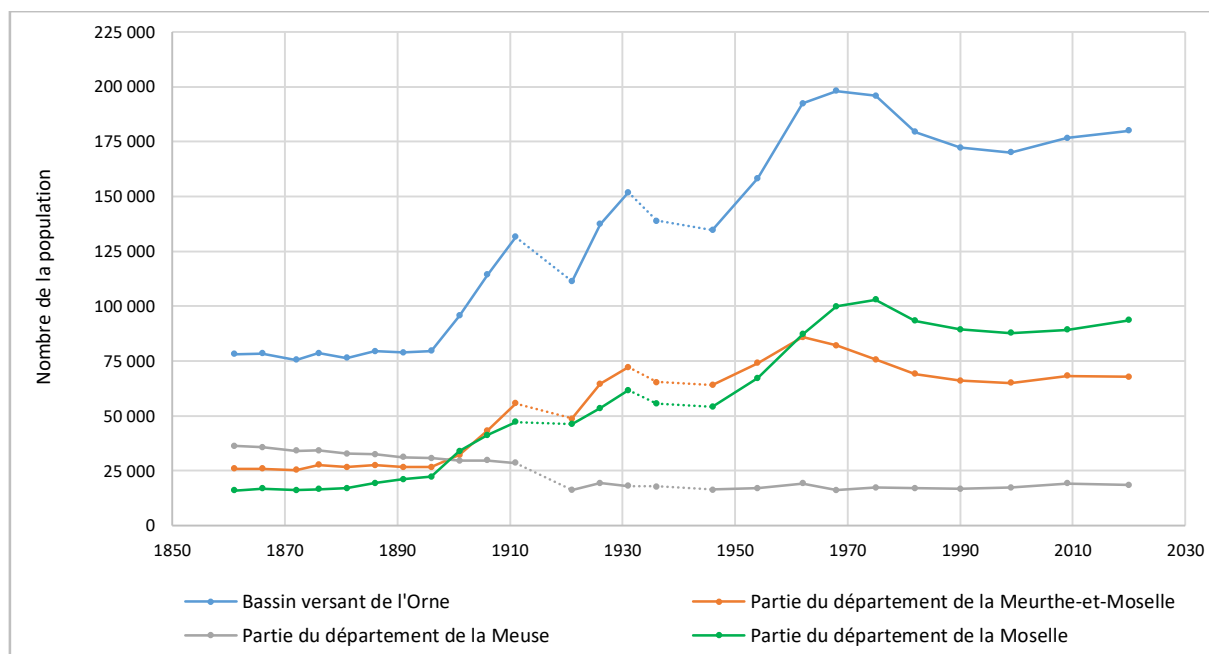


Figure 12 : Évolution de la population dans le bassin versant de l'Orne entre 1861 et 2020

De 1861 à 1896, correspondant à la phase de la pré-industrie, la population totale du bassin demeure relativement stable, passant de 78 119 à 79 569 habitants. En revanche, entre 1896 et 1968, une croissance démographique quasiment continue est observée, avec une augmentation de la population atteignant 198 105 habitants. Ce pic correspond au maximum démographique atteint dans le bassin étudié, et fait référence à l'expansion industrielle. Néanmoins, deux intervalles de temps de diminution apparente²⁶ de la population sont à souligner au cours de cette époque. Il s'agit des deux Guerres Mondiales qui ont entraîné une baisse significative de la population (-20 101 habitants entre 1911 et 1921 ; et -4 249 entre 1936 et 1946), suivie à chaque fois d'une reprise d'activité après l'événement. Ensuite, vient la crise sidérurgique de 1970, qui a impacté le bassin lorrain (Bernard, 1977) dont le bassin ferrifère en fait partie, provoquant une diminution démographique, passant de 198 105 à 170 097 en 1999. Les années 2000 ont marqué une reprise de la croissance démographique, bien que son rythme soit plus lent (2020 : 180 056 habitants).

²⁶ En 1921 et 1946, l'administration française était encore désorganisée.

Au sein des départements dans le bassin versant de l'Orne, les tendances démographiques ne sont pas identiques. La partie 55, la Meuse, représentée en gris, suit un schéma bien distinct, typique d'une zone rurale (voir *Figure 7*), avec une diminution progressive de la population entre 1861 et 1911, suivie d'une chute brusque liée à la Première Guerre Mondiale, et une population qui s'est maintenue de façon plus ou moins constante depuis lors. En revanche, dans les parties de la Meurthe-et-Moselle (54, en orange) et de la Moselle (57, en verte), des similitudes avec les tendances observées dans l'ensemble du bassin (en bleue) sont remarquées, caractérisées par des périodes de stabilité suivies de phases de croissance démographique. Cependant, une analyse plus approfondie révèle des divergences significatives, particulièrement à partir de 1962, où la population de la Moselle dépasse celle de la Meurthe-et-Moselle. Cette disparité peut être expliquée par plusieurs facteurs, notamment la persistance des activités industrielles en Moselle même après la crise sidérurgique, telles que celles de Rombas-Gandrange, demeurant opérationnelles jusqu'en 2009 (voir *Figure 25*). La proximité géographique avec des pays attractifs comme l'Allemagne ou le Luxembourg, ainsi que la présence d'axes de communication tels que les autoroutes, jouent également un rôle majeur. De plus, l'économie et les opportunités d'emploi contribuent à cet écart, avec un nombre d'établissements actifs supérieur en Moselle par rapport à la Meurthe-et-Moselle. Selon les données de l'INSEE : 27 933 contre 19 706 respectivement, soit 8 227 établissements de plus en Moselle. Enfin, le cadre de vie dans la partie 57 du bassin de l'Orne est bien meilleur par rapport à la partie 54, comme par exemple dans la commune d'Amnéville. Ainsi, la succession des résultats ci-dessous permet davantage d'éclaircir cette tendance.

3.1.1. Une croissance démographique concentrée sur le bassin ferrifère

L'analyse du taux de variation annuel de la population (TVAP) entre 1861 et 1968 (voir *Figure 13*) révèle l'impact significatif de l'industrialisation dans le bassin versant de l'Orne. En effet, les données montrent un TVAP allant de -1 % à 50 %. Au total, 121 communes enregistrent une diminution de leur population, tandis que seulement 49 communes en voient une augmentation. Toutefois, cette dynamique ne s'observe pas de manière homogène dans les différents départements au sein du bassin. Les valeurs positives sont principalement observées dans la partie de la Meurthe-et-Moselle (25 sur 66 communes) et de la Moselle (22 sur 25 communes), particulièrement le long de la rivière de l'Orne, où se trouvent les gisements miniers (voir *Figure 1*). Dans la partie du département de la Meuse, toutes les communes (79 au total) affichent des taux négatifs, à l'exception d'Étain et de Dommary-Baroncourt. Par ailleurs, l'implantation des usines à proximité des mines facilitait

l'extraction et le transport des matières premières, tout en tirant avantage de la disponibilité des ressources en eau, puisque la production d'une tonne d'acier nécessite entre 6 et 120 m³ d'eau (Rogé & Walterspieler, 1982).

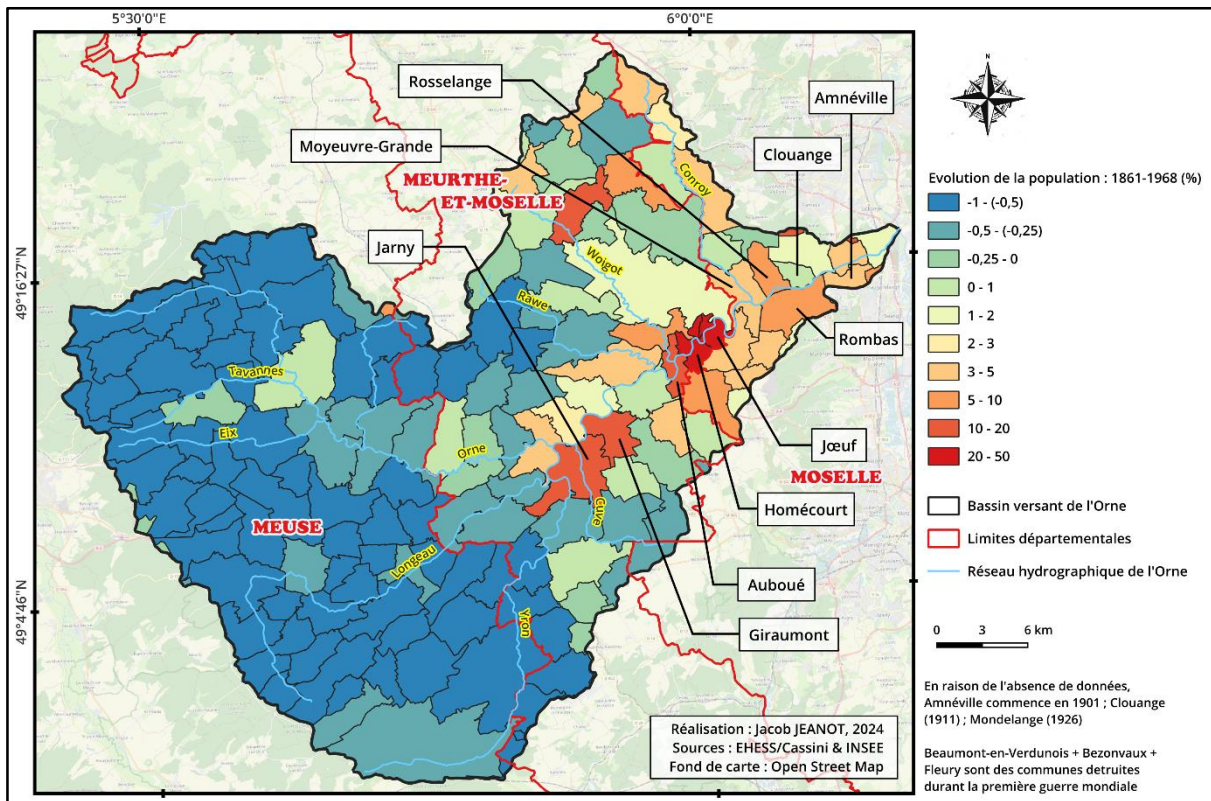


Figure 13 : Taux de variation annuel de population (1861 - 1968)

Les variations les plus remarquables sont ainsi observées dans les villes minières de Jœuf et d’Homécourt, où les taux de variation annuels de la population atteignent entre 20 % et 50 %. Cela a entraîné une augmentation considérable de la population, passant respectivement de 234 à 12 305 habitants et de 270 à 10 616 habitants. Dans les communes d’Auboué, de Giraumont et de Jarny, les TVAP se situent entre 10 % et 20 %. En revanche, dans les localités de Moutiers, Rombas, Rosselange et Sainte-Marie-aux-Chênes, ces taux sont légèrement plus modérés, oscillant entre 5 % et 10 %. À Amnéville, Conflans-en-Jarnisy, Gandrange, Moyeuve-Grande, Richemont, Roncourt et Valleroy, les taux de variation sont plus limités, se situant entre 2 % et 5%.

Pour compléter cette analyse et permettre une meilleure compréhension des dynamiques démographiques, économiques et environnementales de la zone, il est essentiel d'intégrer des informations sur la densité de population (DP) (voir Figure 14).

En 1968, l’amont du bassin (partie 55) présente une densité inférieure à 100 hab/km² dans toutes les communes, à l'exception d’Étain, où la densité varie entre 100 et 200 hab/km². En revanche,

dans la section aval (parties 54 et 57), on observe une variation hétérogène. En effet, dans la partie de la Meurthe-et-Moselle (54), les communes hors du bassin ferrifère ont généralement des densités inférieures à 100 hab/km², à quelques exceptions près comme Val-de-Briey par exemple. Tandis que dans les communes situées dans le bassin ferrifère, la densité est plus élevée, oscillant entre 100 et 2 000 hab/km². C'est au niveau des communes limitrophes avec le département 57 que l'on observe les densités les plus élevées, allant de 2 350 hab/km² à Homécourt, à 3 880 hab/km² à Jœuf. Ce phénomène de forte densité aux limites départementales peut être attribué à la nécessité d'une production accrue dans la partie française durant les annexions de la Moselle par l'Allemagne. En revanche, dans la partie du bassin située en Moselle (57), une seule commune présente une densité de 100 hab/km². Les communes non traversées par les réservoirs miniers ont des densités comprises entre 100 et 500 hab/km², tandis que celles qui sont traversées présentent des densités comprises entre 500 et 2 000 hab/km².

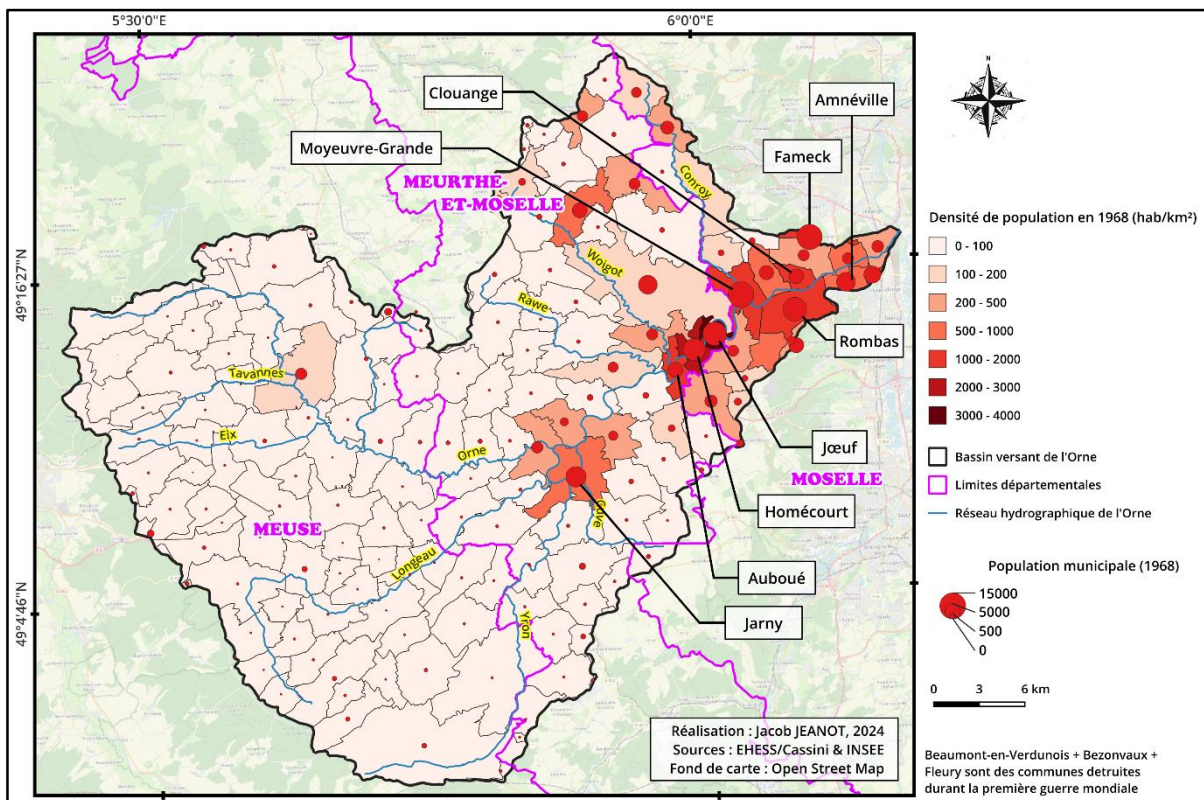


Figure 14 : Densité de population en 1968 dans le bassin de l'Orne

Cette concentration le long de la vallée de l'Orne s'explique principalement par la naissance des villes-usines (voir *Annexe 4*), caractérisées par un système paternaliste (voir *Figure 15*). La construction de cités ouvrières, élément crucial de cette transformation, permettait de loger les ouvriers à proximité de l'usine et de la mine, facilitant ainsi le contrôle social. D'ailleurs, à cette époque, les ouvriers ne possédant pas de voiture, tous leurs besoins primaires devaient être satisfaits sur place. Le circuit industriel était conçu pour être le plus court et le plus rentable

possible : du mineur à la mine, de la mine à l'usine, de l'ouvrier à l'usine. L'organisation du territoire suivait alors une hiérarchisation socioprofessionnelle, reflétant le rôle symbolique de l'espace. Pour accéder aux meilleures places, il fallait être hautement qualifié et de bonne moralité. Les objectifs étaient doubles : d'une part, attirer une population en construisant des cités ouvrières et en fournissant des services et commerces ; d'autre part, assurer leur éducation morale pour limiter les comportements qui peuvent nuire à la productivité.



Figure 15 : Système paternaliste à Jœuf (cités ouvrières, lotissements, quartiers, collectivités), Jacob JEANOT

La mise en scène de l'espace était particulièrement plus prononcée à Jœuf et à Homécourt (Picon, 2014), bien plus que dans les autres communes autour de l'Orne. À Jœuf, cette organisation spatiale est particulièrement évidente. Le patron, François De Wendel, y résidait lui-même, dans une résidence majestueuse, avec deux châteaux au sommet de la colline, symbolisant sa présence et son autorité. Cette présence symbolique du patron confirme une forte volonté d'affirmer le paternalisme. En effet, la famille De Wendel, durant leur règne (du XVIII^e au XX^e siècle), a eu une forte influence sur l'autorité publique, surtout en matière d'urbanisme.

3.1.2. L'impact de la crise sidérurgique sur la population de l'Orne

La carte du taux de variation annuelle de la population (TVAP) entre 1968 et 2020 illustre clairement l'impact de la crise sidérurgique dans le bassin versant de l'Orne (voir *Figure 16*). Le TVAP varie de -1 % à 10 %, avec des disparités notables entre les différents départements du bassin. En tout, 79 communes connaissent une diminution de population, tandis que 91 enregistrent des gains démographiques. Près de la moitié des communes de chaque département est touchée : dans la Meuse, 38 sur 79 communes voient leur population diminuer, contre 32 sur 66 en Meurthe-et-Moselle et 9 sur 25 en Moselle.

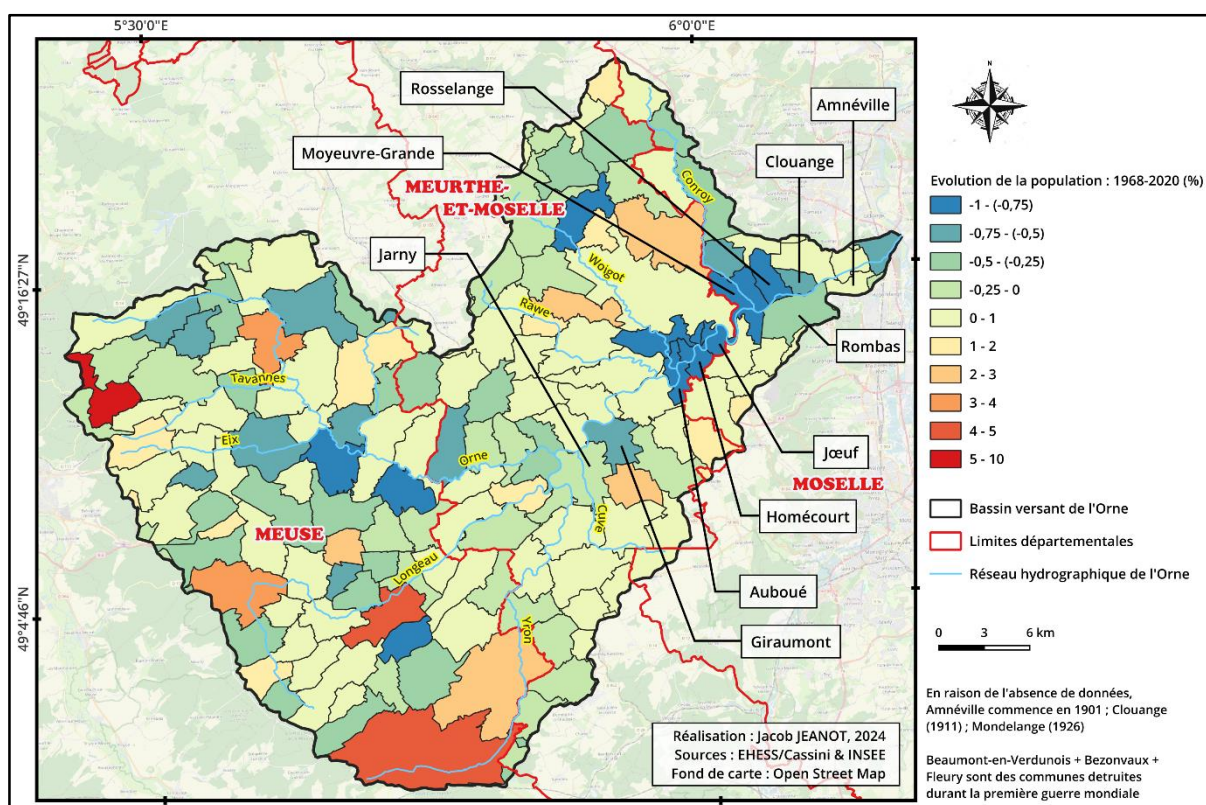


Figure 16 : Taux de variation annuel de population (1968 - 2020)

En effet, on constate que dans la partie de la Meuse, l'analyse de la carte révèle un mélange de croissance et de déclin démographique. Cela reflète une diversification économique et des facteurs locaux permettant à certaines communes de mieux résister à la crise. En Meurthe-et-Moselle, le déclin démographique est particulièrement marqué autour de la rivière Orne, signalant l'impact direct de la désindustrialisation et de la fermeture des usines sidérurgiques. Les zones autrefois dépendantes de cette industrie ont souffert de la perte d'emplois, entraînant une migration et une diminution démographique. De même, dans la partie de la Moselle, le déclin de la population est particulièrement prononcé dans les villes-usines, où la perte de population est liée à une baisse de la qualité de vie.

3.2. Une anthropisation du lit mineur accentuée à partir des années 1930

L'évolution de l'indice de sinuosité de la rivière de l'Orne entre 1830 et 2020 témoigne du degré d'aménagement réalisé sur cette période (voir *Figure 17*). Une tendance générale à la diminution de la sinuosité du chenal est observée dans la plupart des sections, nommées ici planches (P), notamment à partir de 1928, ce qui suggère une rectification du cours d'eau au fil du temps. Cette tendance s'est ensuite maintenue de manière plus ou moins stable entre 1982 et 2020.

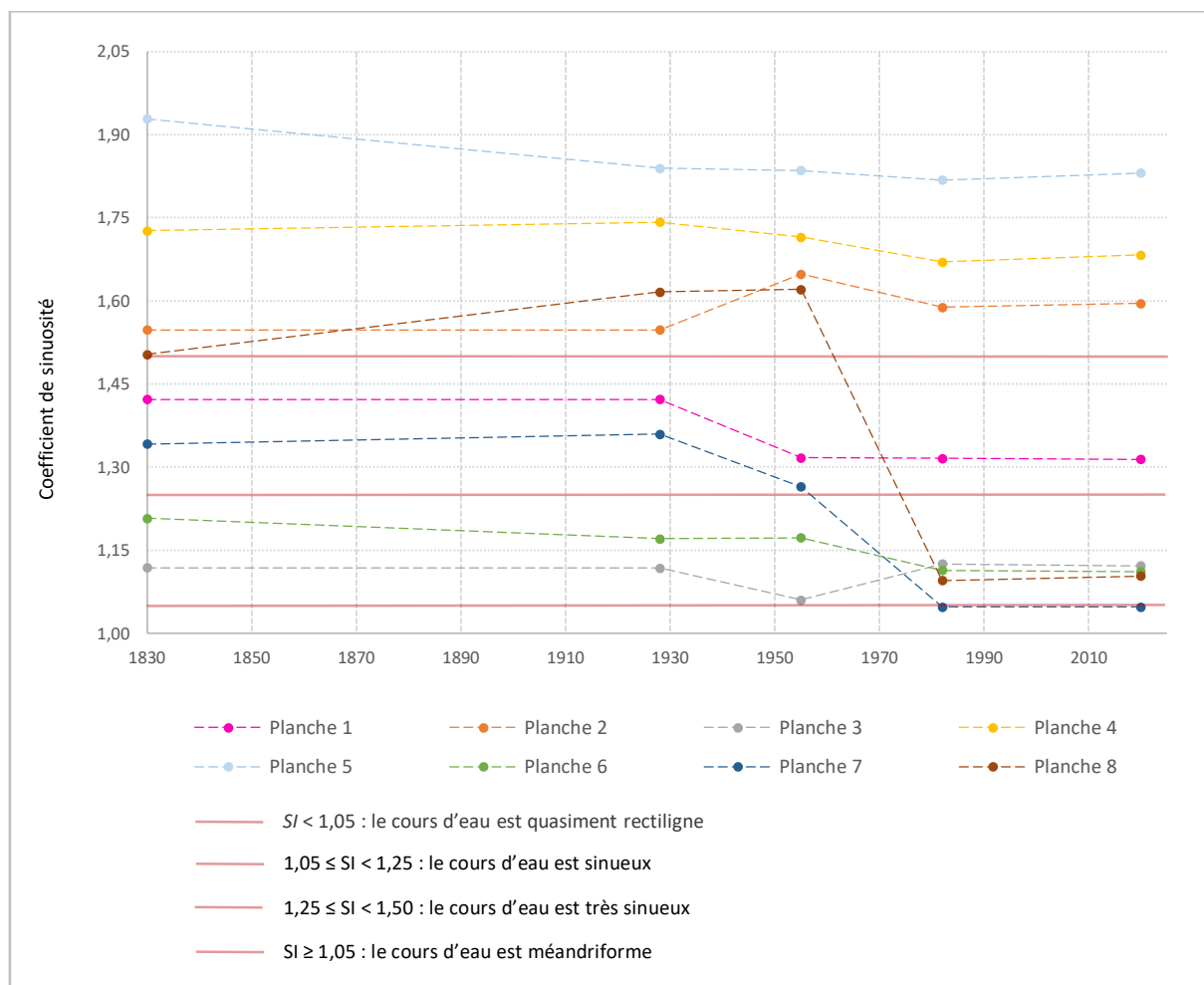


Figure 17 : Évolution de l'indice de sinuosité de l'Orne entre 1830 et 2020, Jacob JEANOT

Toutefois, ces variations ne sont pas identiques d'un secteur à l'autre. En regroupant par classe de sinuosité, les planches P2, P4, et P5 restent dans la catégorie des cours d'eau méandriformes, quelle que soit la période observée, et cela malgré les variations provoquées par les séries aménagements. En revanche, la planche P8 débute en 1830 avec un cours d'eau de type méandriforme (SI = 1,5), mais qui se redresse considérablement entre 1955 et 1982 pour devenir un cours d'eau sinueux. Les planches P1 et P7 commencent avec un cours d'eau très sinueux ; P1 reste inchangé en 2020, bien qu'une petite diminution soit observée entre 1928 et 1955,

tandis que P7 connaît un changement notable, devenant un cours quasi rectiligne avec un indice de 1,05. Enfin, les planches P3 et P6 appartiennent à la catégorie des cours d'eau sinueux tout au long de la période.

Pour illustrer ces propos, une carte d'évolution du lit mineur entre 1830 et 2020 a été réalisée (voir *Figure 18*). Certes, la figure est peu lisible sur un document papier ; il faudra zoomer pour voir les différents tracés du cours d'eau par période. C'est là tout l'intérêt de la cartographie narrative, qui permet de naviguer facilement (voir *Figure 29*). D'ailleurs, les planches contenues dans cette carte ont été examinées en détail à travers la conception d'un atlas (voir *Annexe 6*). Chaque planche est illustrée par deux cartes : l'une utilisant un fond d'image satellite de « ESRI World Imagery » et l'autre, le « Plan IGN V2 ». En outre, certaines portions sont détaillées dans les pages suivantes (pages 44 à 46).

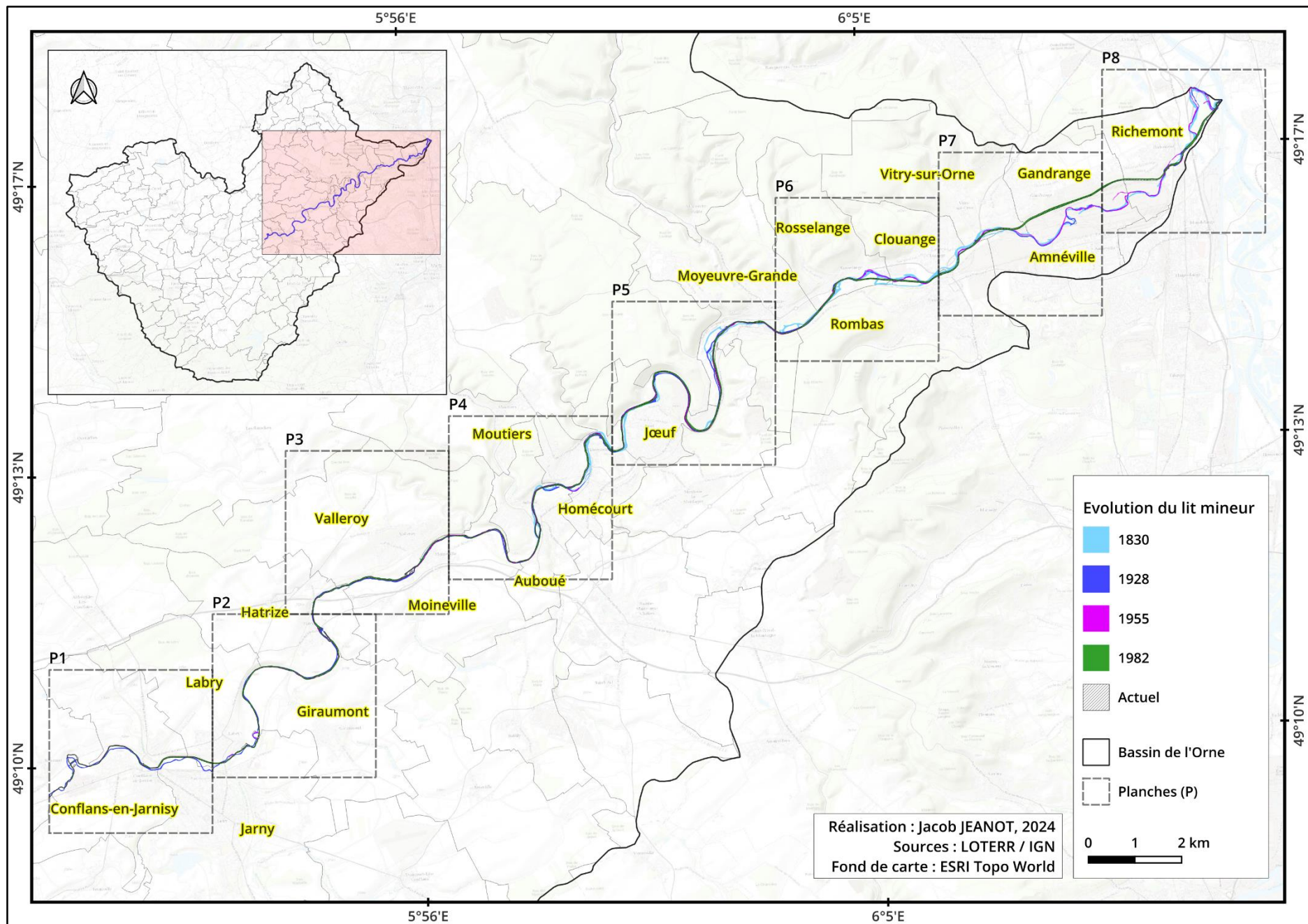


Figure 18 : Évolution du lit mineur entre 1830 et 2020

L'observation de l'atlas montre que les planches P1, P2 et P3 sont majoritairement occupées par des terres agricoles, ce qui explique la faible modification du lit à ces emplacements. Néanmoins, deux cas attirent principalement notre attention (voir *Figure 19*).

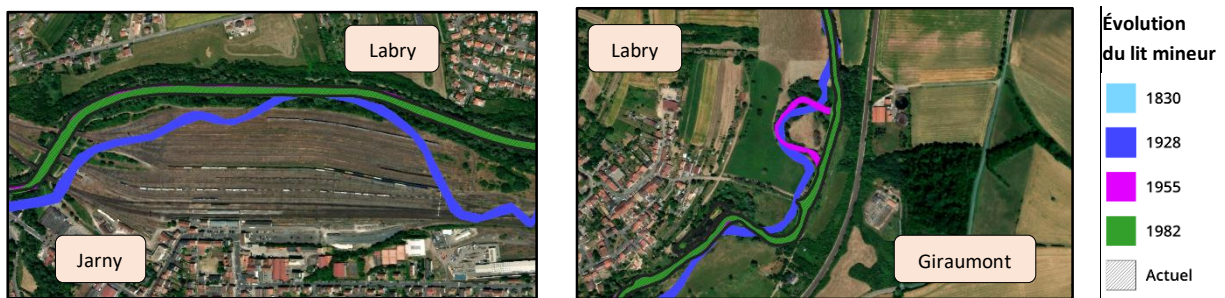


Figure 19 : Extrait de planche 1 (à gauche) et planche 2 (à droite)

Le premier cas (à gauche) s'explique par l'agrandissement de la voie ferrée lié aux Guerres Mondiales. En effet, la commune de Jarny est devenue un site stratégique où transitait des tonnes de matériels militaires²⁷. Le deuxième cas (à droite) souligne une rectification effectuée pour gagner de l'espace agricole dans les communes de Labry et de Giraumont. Les images aériennes consultées sur le site Remonter le Temps, révèlent que ce recoupement a été réalisé entre 1969 et 1970 (voir *Figure 20*).

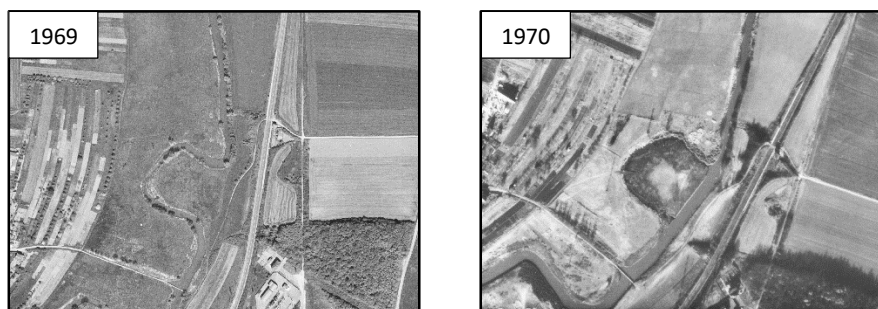





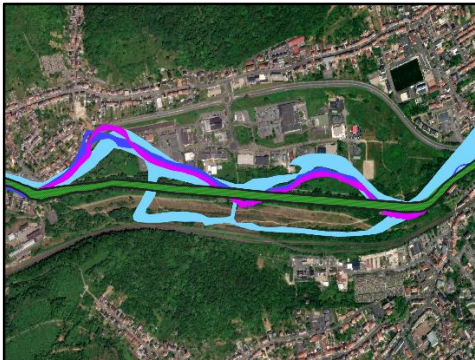


Figure 20 : Extrait des images aériennes de l'IGN, retouchées sur Adobe Illustrator

Par contre, dans les planches 4 à 8, nous observons des traces des anciennes activités sidérurgiques, telles que l'exploitation des mines, l'implantation des usines ou hauts-fourneaux, et la création des zones d'activités économiques, ce qui a engendré la rectification du lit de l'Orne. Ces modifications étaient souvent nécessaires pour permettre le développement des infrastructures industrielles et le transport des matières premières et des produits finis. Bien que de nombreuses friches industrielles aient été démantelées, les photographies de l'IGN nous permettent de voir une bonne partie de ces activités de l'époque. Les transformations du paysage dans ces planches reflètent l'histoire industrielle intense de la région, marquée par une forte activité économique et des changements territoriaux significatifs (voir *Figure 21*).

²⁷ <https://www.jarny.fr/a-decouvrir/histoire-de-jarny/gare/>

N°	Extraits des images aériennes de l'IGN / dates sources	Extraits des planches	Commentaires
Planche 4			<p>Entre 1928 et 1955, des modifications ont été apportées sur le cours d'eau de l'Orne au niveau d'Auboué en raison de l'activité industrielle. L'image de 1951 illustre une contrainte d'espace, ce qui aurait pu motiver la rectification du lit afin de gagner en superficie.</p>
Planche 5			<p>L'expansion industrielle a entraîné le développement des chemins de fer (1928), essentiellement pour évacuer les produits. Par ailleurs, nous avons à proximité une mine. On observe la construction d'un nouveau haut-fourneau (1960) à Moyeuve-Grande.</p>
Planche 6			<p>Extension urbaine à Clouange, pour accueillir le Parc d'Activités et les Zones Économiques. En revanche, la correction dans la partie inférieure correspond à l'usage de la voie ferrée, pour le transport des mines et autres.</p>






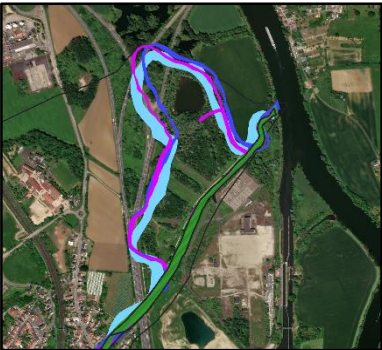
<p>Planche 7</p>			<p>Entre 1966 et 1968, poursuite des travaux commentés ci-dessous (P8). D'ailleurs, nous pouvons voir le commencement de la construction de l'usine sur l'image de 1968.</p>
<p>Planche 8</p>			<p>Les travaux d'aménagement pour permettre la mise en place d'une usine à Gandrange débutent en 1966 et s'étendent de Richemont jusqu'à Vitry-sur-Orne. L'infrastructure industrielle est longue de plusieurs kilomètres et relie de nombreuses localités.</p>
<p>Planche 8 (bis)</p>			<p>La création d'un axe de communication, l'autoroute A31 (ouverture : 1966), est l'une des principales causes de l'effacement du méandre.</p>

Figure 21 : Explication des modifications du lit mineur, de la planche 4 à 8²⁸

²⁸ Pour chaque planche, une version à une échelle plus grande est annexée pour une meilleure lisibilité (voir Annexe 7).

3.3. Des villages-rues aux friches industrielles : des renaturations en cours

Dans cette partie, nous nous sommes focalisés sur les planches 6, 7 et 8 (voir *Annexe 6*), soit de la commune de Moyeuve-Grande à Richemont, pour analyser concrètement comment l'aménagement urbain s'est développé dans la zone où l'indice de sinuosité est presque rectiligne (1,05). En effet, l'évolution en proportion (%) de l'occupation du sol entre 1830 et 2021 illustre ici les transformations dans l'utilisation des terres (voir *Figure 22*). La correspondance en termes surfaciques est représentée à l'*Annexe 8*.

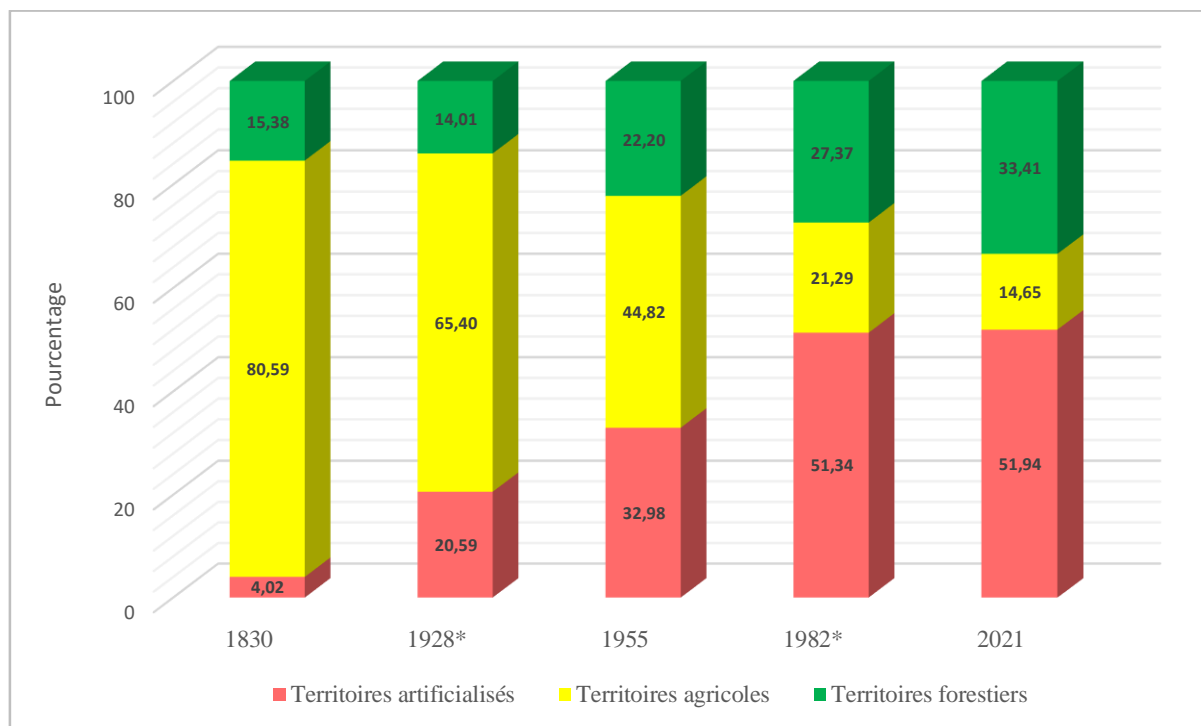


Figure 22 : Évolution de l'occupation du sol entre 1830 et 2020 (en %), Jacob JEANOT²⁹

En 1830, la société se caractérise par une dominance agricole avec un faible taux d'urbanisation. À cette époque, les territoires agricoles occupent 80,59 % de l'espace, suivis des territoires forestiers à 15,38 %. En revanche, les territoires artificialisés ne représentent que 4,02 %. En 1928, la part des terres agricoles diminue à 65,40 %, tandis que les terres artificialisées augmentent à 20,59 %, marquant le début de l'expansion industrielle. Cette tendance se poursuit en 1955, avec une réduction des terres agricoles à 44,82 % et une augmentation des territoires artificialisées à 32,98 %. Cette période s'inscrit également dans les plans de relance économique liés à la reconstruction du pays après la Seconde Guerre Mondiale, ainsi que dans les années de prospérité des Trente Glorieuses. En 1982, la tendance continue, mais avec une attention

²⁹ * : La digitalisation de 1928 et de 1982 n'a pas pu couvrir toute la zone d'étude en raison d'un nombre insuffisant de missions aériennes (voir la section 3.5. *Discussion, limites et perspectives de l'étude*).

croissante pour les forêts, ce qui se reflète dans l'augmentation de la part des territoires forestiers. En 2021, la proportion des territoires artificialisés semble se stabiliser, tandis que la part des milieux naturels est en hausse à 33,41 %. Cette évolution témoigne d'une prise de conscience, indiquant des efforts de renaturation et de conservation des espaces verts.

Par conséquent, les données montrent une transition marquée d'une société essentiellement agricole au 19^{ème} siècle à une société urbanisée au 21^{ème} siècle. Les villages-rues du passé, avec leur prépondérance de terres agricoles, ont progressivement cédé la place à des paysages dominés par des infrastructures industrielles (voir *Figure 23*). Cette évolution pose des défis pour la gestion durable des terres, particulièrement en ce qui concerne la conservation des espaces verts et forestiers. Les tendances récentes montrent une augmentation des surfaces forestières, suggérant des efforts de renaturation et de réhabilitation des friches industrielles. Ces initiatives sont essentielles pour restaurer la biodiversité, améliorer la qualité de vie urbaine et atténuer les impacts environnementaux de l'urbanisation. D'ailleurs, la reconversion des friches industrielles représente une réponse proactive aux défis posés par l'urbanisation³⁰, visant à freiner l'artificialisation nette des sols en compensant les nouvelles surfaces urbanisées par la renaturation d'autres zones déjà artificialisées.

Par ailleurs, l'observation de la carte diachronique de l'occupation du sol entre 1830 et 2021 (voir *Figure 23*) montre que l'implantation des usines sidérurgiques a d'abord été principalement située au fond de la vallée, c'est-à-dire à l'amont des réservoirs miniers du bassin ferrifère (voir *Figure 1*), puis s'est progressivement étendue vers l'exutoire du bassin (Edelblutte, 2018). Les usines sont devenues de plus en plus imposantes, s'étendant parfois sur plusieurs communes, en réponse à la nécessité de créer des infrastructures toujours plus grandes pour maximiser la production. La première crise sidérurgique de 1960³¹ remet en cause la minette lorraine avec sa faible teneur en fer, pénalisant durement les mines locales et poussant les sidérurgistes à importer des minerais plus riches pour maintenir leurs marges. Cela a conduit également à la construction d'usines près de la confluence avec la Moselle pour faciliter l'évacuation et le transport des produits par voie navigable, étant donné que la rivière de l'Orne n'est pas praticable à la navigation en raison de son faible débit et de sa profondeur insuffisante pour assurer la flottabilité des embarcations.

³⁰ Opportunité pour atteindre les objectifs de zéro artificialisation nette : <https://infos.ademe.fr/lettre-strategie-mars-2022>

³¹ Information trouvée dans le site : https://fr.wikipedia.org/wiki/Crise_de_la_sid%C3%A9rurgie_dans_le_bassin_lorrain

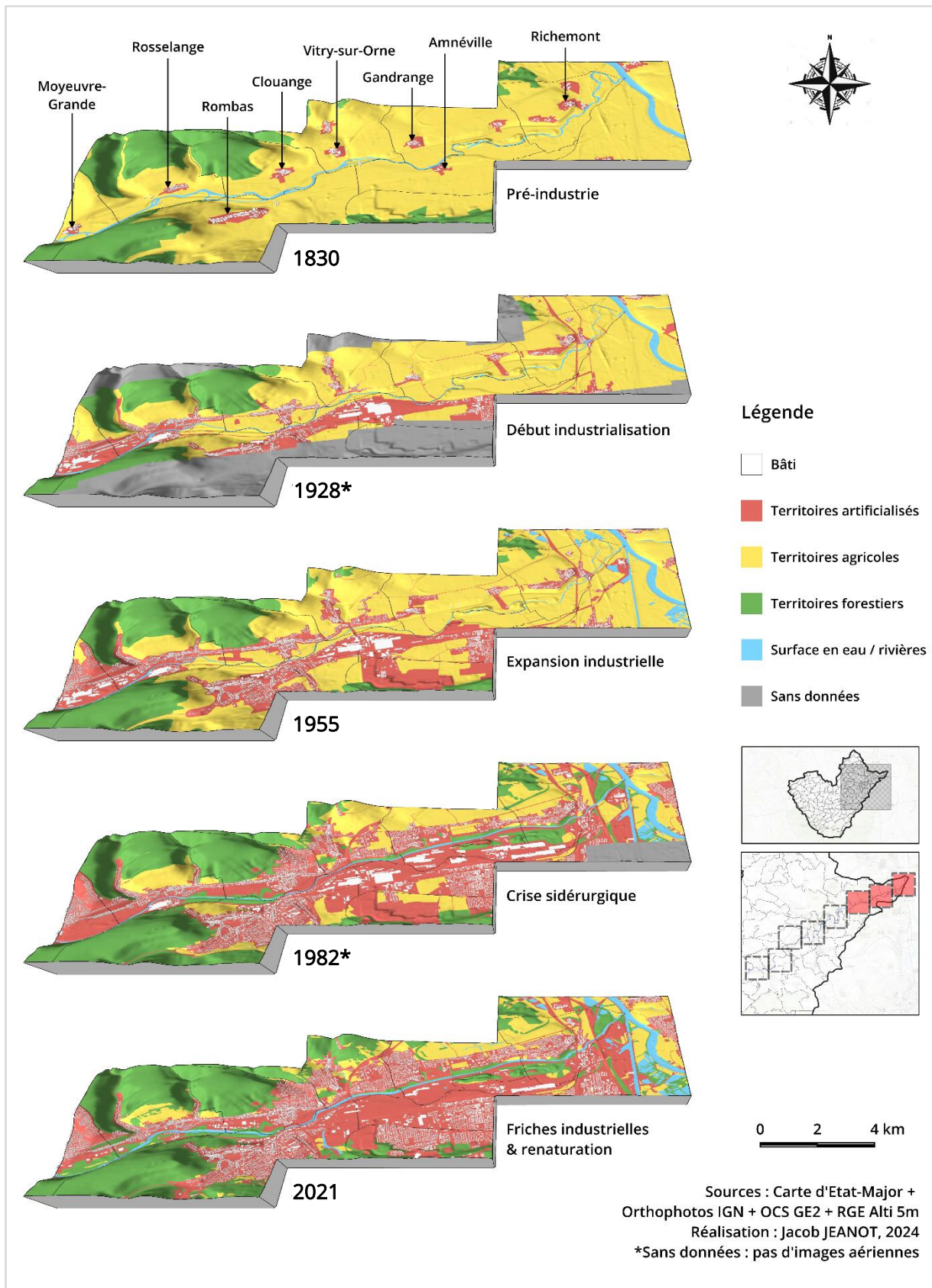


Figure 23 : Carte diachronique de l'occupation du sol entre 1830 et 2021

3.4. Frise chrono-systémique

L'observation de la frise chrono-systémique met en lumière les interactions complexes du socio-éco-technosystème dans le bassin versant de l'Orne depuis 1860 jusqu'à nos jours (voir *Figure 25*). Les éléments de cette frise contiennent des informations de toutes dimensions : sociosphère, pollution, biosphère, hydrosystème, restauration, historique, industrielle et transverse (étude et recherche). Sa lecture se fait horizontalement et/ou verticalement selon l'objectif du lecteur.

Dans la lecture verticale, quatre périodes majeures sont à évoquer. La pré-industrie (1860-1896) se distingue par un nombre limité d'usines sidérurgiques situées principalement à Jœuf et à Rombas-Gandrange. À cette période, la biodiversité de l'Orne était relativement préservée. Ensuite, arrive l'expansion industrielle (1896-1970), marquée par l'ouverture de nombreuses activités dans les communes d'Auboué, Homécourt, Rombas, et Valleroy... Des actions et des lois sur le curage étaient déjà mises en place au niveau local et préfectoral mais s'avéraient peu efficaces. À cette époque, on observe également des modifications importantes des lits de la rivière de l'Orne pour permettre l'installation de grandes usines. Les di-services, particulièrement les crues et les risques miniers, commencent à devenir répétitifs. À la fin de la période « Les Trente Glorieuses », de nombreuses usines et des mines se ferment. Vient ensuite la période de la crise sidérurgique (1970-2000), marquée par une prise de conscience environnementale et des actions de restauration initiées par le changement de paradigme. Presque toutes les usines autrefois prospères ont fermé leurs portes quoique les phénomènes météorologiques (+ évènements miniers) continuent de frapper durement le bassin versant. Enfin, la période de restauration (2000-2030) représente une ère où de nombreuses initiatives voient le jour pour rétablir le bassin et améliorer la qualité de vie des citoyens. Des efforts de reconversion des friches industrielles, de renaturation des berges, et de création de pistes cyclables sont mis en œuvre pour redonner vie à la région et la rendre plus attractive.

Quant à la lecture horizontale, elle permet de suivre l'évolution de chaque rubrique. La première rubrique concerne les contraintes externes, illustrant les différentes guerres qui ont entraînés des changements dans les politiques territoriales, notamment dans le département de la Moselle, qui a été annexé deux fois par l'Allemagne en 1871-1919 et en 1940-1944. La découverte du procédé Thomas en 1877 a permis d'éliminer l'excès de phosphore contenu dans les minettes, longtemps sous-exploitées. Ce procédé a été rapidement adopté dans le bassin étudié, avec la commune de Jœuf comme pionnière, appliquant cette technique dans le haut-fourneau de « De Wendel » en 1882. Plus tard, diverses lois supranationales,

nationales et locales ont émergé avec la prise de conscience des problèmes environnementaux et à l'apparition de la notion de changement climatique dans les années 1970. En réaction face à cela, plusieurs regroupements de dirigeants mondiaux ont eu lieu (Convention Ramsar en 1971, Sommet de la Terre en 1992 à Rio de Janeiro, ...). En conséquence, des mesures de protection des espaces naturels ont été mises en place aux niveaux national et local, telles que les Réserves Naturelles Régionales (2000) et les Zones Naturelles d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique (1982).

La deuxième rubrique porte sur les industries, affirmant la riche histoire du bassin versant de l'Orne. L'industrialisation a débuté dans les années 1870, avec de nombreuses industries apparaissant entre 1900 et 1950. La première fermeture notable fut celle d'une mine située à Auboué en 1958. Les fermetures se sont ensuite intensifiées à partir de 1968, en lien direct avec la crise sidérurgique qui a commencé dans les années 1960 et a renforcé dans les années 1970³². La dernière usine fermée fut celle de Rombas-Gandrange en 2009, aujourd'hui quasi-démantelée³³. Outre les mines, les usines sidérurgiques (hauts-fourneaux, laminoirs, aciéries) et les cokeries, d'autres activités industrielles étaient présentes, comme l'abattoir à Homécourt (1910-1980). Par ailleurs, les produits secondaires et les déchets issus de la production de minerai, de la fonte ou de l'acier étaient souvent réutilisés, témoignant du principe selon lequel « *rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme* » (Antoine de Lavoisier, 1789). Par exemple, les émissions de gaz lors de la fabrication de l'acier étaient capturées dans des gazomètres puis acheminées vers des centrales pour produire de l'électricité, comme c'était le cas dans la commune de Richemont en 1950-2008.

La troisième rubrique examine les acteurs et les pratiques autour de la rivière de l'Orne. Le développement de la sidérurgie a entraîné des rejets de boues dans la rivière de l'Orne, d'où la création du syndicat intercommunal pour le curage de l'Orne en 1949, suivi du syndicat intercommunal pour l'assainissement en 1973 à la demande de la population. En effet, la saturation du chenal par des sédiments augmentait considérablement les risques d'inondations car l'eau débordait plus rapidement. De plus, l'exploitation minière dans les sous-sols a engendré le pompage des eaux d'exhaure³⁴, qui a commencé en parallèle avec l'exploitation industrielle en 1870 et est devenu permanent en 1946 pour permettre la pérennité des exploitations de minerai. L'arrêt du pompage a eu lieu en 1998. À partir des années 1970,

³² Crise de la sidérurgie dans le bassin lorrain : [https://fr.wikipedia.org/Crise_de_la_sidérurgie](https://fr.wikipedia.org/Crise_de_la_sid%C3%A9rurgie)

³³ Gandrange. L'aciérie en quelques dates : <https://www.republicain-lorrain.fr/economie/2021/02/10/>

³⁴ Les eaux d'exhaures et fermetures des mines : <https://cdi.eau-rhin-meuse.fr/GEIDFile/15757.pdf>

la question environnementale a émergé dans les politiques territoriales, observable à travers les documents d'urbanisme et de gestion comme les Plans Locaux d'Urbanisme (1978) ou encore les Plans de Prévention des Risques (Inondations : 2005 & Miniers : 2011). Des entités scientifiques ou non, intéressées à l'amélioration de la qualité de vie, ont également fait leur apparition, comme la création de l'association « Au fil de l'Orne » en 1999, le Groupement d'intérêt scientifique sur les friches industrielles en 2002 et la Zone Atelier Moselle au niveau de l'Orne en 2010.

La quatrième rubrique évoque les aménagements réalisés proches du cours de l'Orne. Des barrages ont été construits à Moyeuve-Grande (1958) et à Homécourt (1973) pour répondre aux besoins des hauts-fourneaux des usines³⁵. En 2019, le Syndicat de Valorisation Écologique de l'Orne a procédé à l'ouverture des vannes dans le but de rétablir la fonction écologique de la rivière et la biodiversité. Des travaux de restauration et de renaturation ont également vu le jour à partir des années 2000, avec des actions de reconversion des friches et des aménagements de berges, comme à Homécourt en 2023, par exemple. La mise en place d'un réseau de stations d'épuration des eaux usées (STEP) dans le bassin versant de l'Orne a débuté dans la ville de Jœuf en 1930, puis s'est étendue à Rombas en 1989 et à plusieurs autres communes à partir de 1993. Une nouvelle station d'épuration a été installée à Jœuf et Moyeuve-Grande en 2006. Ces installations étaient essentielles pour traiter les eaux usées dans ces villes en éliminant les polluants avant leur rejet dans la nature. Par ailleurs, des modifications du lit de l'Orne ont été observées au fil du temps, particulièrement marquées à partir de 1930, incluant des rectifications du lit, des recouplements de méandres et des suppressions de dérivations. Par exemple, la *Figure 24* illustre une demande de la société anonyme des hauts fourneaux et fonderies de Pont-à-Mousson pour dériver une partie de l'eau de l'Orne traversant l'usine d'Auboué en 1907.

³⁵ <https://www.ville-joeuf.fr/levee-des-vannes-au-barrage-de-beth-de-moyeuve-grande/>

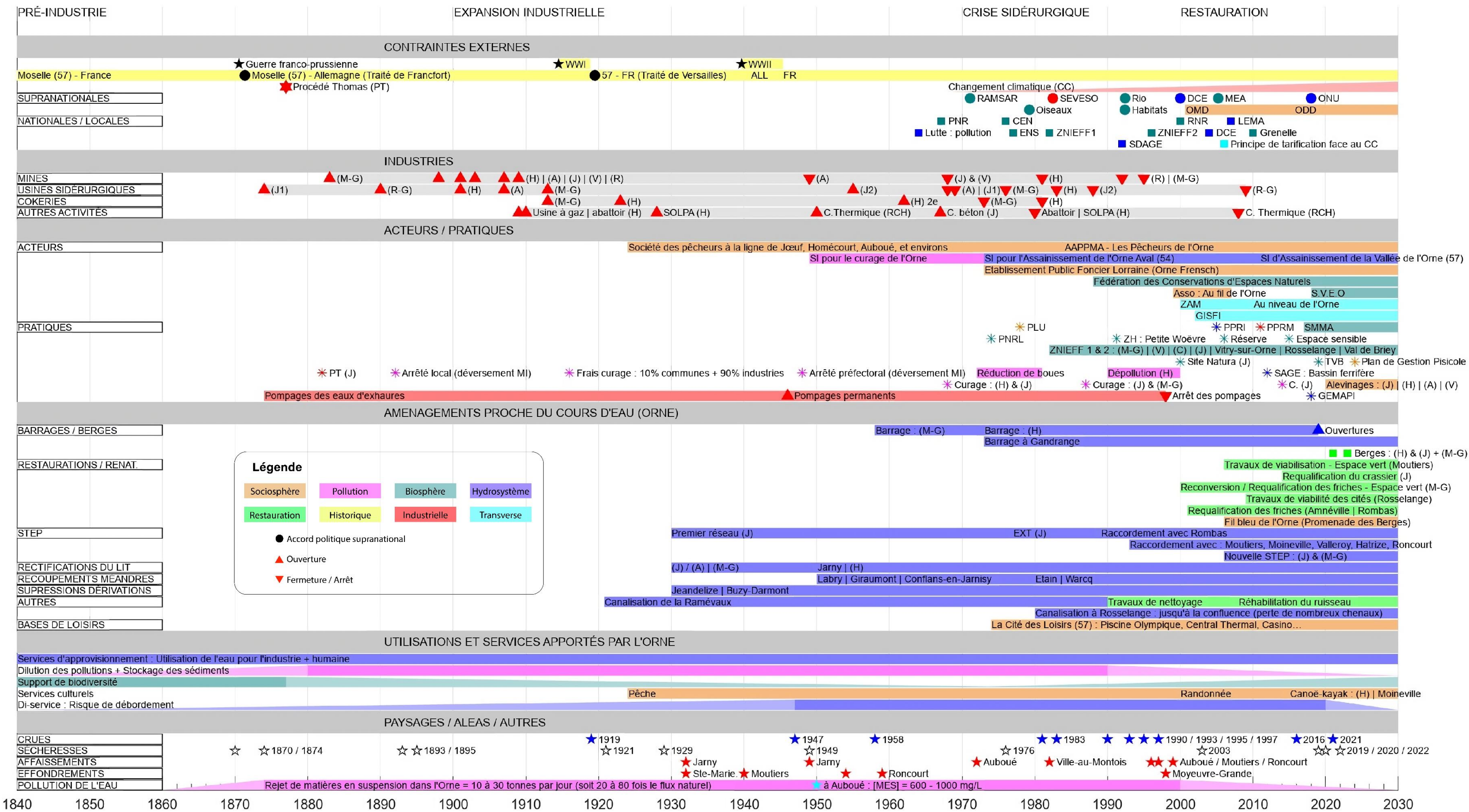


Figure 25 : Frise chrono-systémique de la rivière de l'Orne

Acronymes de la frise

CONTRAINTES EXTERNES	
<ul style="list-style-type: none"> - 57 : Département de la Moselle - ALL : Allemagne - CC : Notion du Changement Climatique - CEN : Conservatoire des Espaces Sensibles - DCE : Directive Cadre sur l'Eau - ENS : Espace Naturel Sensible - FR : France - Habitats : Natura 2000 - Directives Habitats - LEMA : Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques - MEA : Millennium Ecosystem Assessment - ODD : Objectif du Développement Durable 	<ul style="list-style-type: none"> - Oiseaux : Natura 2000 - Directive Oiseaux - OMD : Objectif du Millénaire pour le Développement - ONU : Conférence des Nations Unies sur l'eau - PNR : Parc Naturel Régional - PT : Découverte du Procédé Thomas - RIO : Sommet de Rio - RNR : Réserve Naturelle Régionale - SDAGE : Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux - WWI : Première Guerre Mondiale - WWII : Deuxième Guerre Mondiale - ZNIEFF : Zone Naturelle d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique
INDUSTRIES	
<ul style="list-style-type: none"> - A : Auboué - H : Homécourt - J : Jœuf - M-G : Moyeuvre-Grande 	<ul style="list-style-type: none"> - R : Rombas - RCH : Richemont - R-G : Rombas – Gandrange - V : Valleroy
ACTEURS / PRATIQUES	
<ul style="list-style-type: none"> - 54 : Département de la Meurthe-et-Moselle - 57 : Département de la Moselle - AAPPMA : Association Agréée de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique - C : Clouange - GISFI : Groupement d'intérêt scientifique sur les friches industrielles - H : Homécourt - J : Jœuf - M-G : Moyeuvre-Grande - MI : Matières Industrielles - SAGE : Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux - ZNIEFF : Zone Naturelle d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique 	<ul style="list-style-type: none"> - PLU : Plan Local d'Urbanisme - PNRL : Parc Naturel Régional Lorraine - PPRI : Plan de Prévention de Risque Inondation - PPRM : Plan de Prévention de Risque Minier - PT : Procédé Thomas - SI : Syndicat Intercommunal - SMMA : Syndicat Mixte de la Moselle Aval - SVEO : Syndicat de Valorisation Écologique de l'Orne - TVB : Trame Verte et Bleue - V : Valleroy - ZH : Zone Humide
AMENAGEMENTS PROCHE DU COURS D'EAU	
<ul style="list-style-type: none"> - 57 : Département de la Moselle - A : Auboué - EXT : Extension - H : Homécourt 	<ul style="list-style-type: none"> - J : Jœuf - M-G : Moyeuvre-Grande - STEP : Station d'épuration des eaux usées
UTILISATIONS ET SERVICES APPORTÉS PAR L'ORNE	
<ul style="list-style-type: none"> - H : Homécourt 	
PAYSAGES / ALEAS / AUTRES	
<ul style="list-style-type: none"> - MES : Matières en suspension 	

3.5. Discussion, limites et perspectives de l'étude

Cette étude a permis de démontrer l'impact significatif de la sidérurgie sur le bassin versant de l'Orne, en particulier sur la démographie, l'évolution du lit mineur et l'occupation des sols. Elle a également retracé des éléments du socio-éco-technosystème entre 1860 et 2024. Une partie des résultats a été présentée lors de la Journée Scientifique de la ZAM, le 22 mai 2024 (voir *Annexe 9*), suscitant un intérêt marqué de la part du LIEC, notamment d'Emmanuelle Montargès et de Laurence Mansuy, qui mènent des recherches sur ce bassin depuis 2014. En conséquence, des posters et des cartes seront produits et exposés lors de la Fête de la Science en octobre 2024. Cette étude a également attiré l'attention du Syndicat Mixte de la Moselle Aval, et la frise chrono-systémique a été présentée lors de la Journée Nature, le 23 juin 2024. Le projet BIOM vise maintenant à appliquer cette démarche à l'ensemble du bassin versant de la Moselle, côté français, à l'image du projet Chrono-Rhône³⁷. Cependant, certains aspects de l'étude présentent des limites et peuvent être sujettes de perfectibilités.

La première limite concerne la recherche et l'inventaire des données. Avant 1860, bien que des aménagements aient été réalisés, ils ne sont pas au cœur de notre étude. De plus, les incertitudes augmentent à mesure que l'on remonte dans le temps, risquant de biaiser les résultats. Par exemple, les cartes des Naudins³⁸ (1728 à 1739) et de Cassini³⁹ (1760), bien qu'intéressantes pour l'analyse historique, manquent de précision et ne se superposent pas correctement aux autres ressources (voir *Figure 26*).



Figure 26 : Comparaison de la superposabilité des cartes de Cassini et d'État-Major, Géoportail (à Jœuf)⁴⁰

³⁷ Site web du Chrono-Rhône : <https://chrono-rhone.ens-lyon.fr/timeline>

³⁸ Cartes des Naudins : <https://chr.grandest.fr/ressources/cartes-des-naudin/>

³⁹ Cartes de Cassini géoréférencées : <https://www.geoportail.gouv.fr/donnees/carte-de-cassini>

⁴⁰ Lien pour observation : <https://remonterletemps.ign.fr/comparer/>

Elles sont surtout utiles pour des analyses qualitatives plutôt que quantitatives. L'étude géo-historique dépend fortement des données historiques, souvent difficiles d'accès ou dispersées, notamment en raison de l'histoire complexe de la Moselle⁴¹ avec les annexions allemandes.

La deuxième limite réside dans le travail de vectorisation. Celui-ci n'a pas pu être complet pour les périodes de 1928 et de 1982, en raison de l'absence de missions photographiques couvrant toute la zone d'étude. Ainsi, 19 % de la surface étudiée est sans données pour 1928 contre 3 % pour 1982. Les orthophotographies en noir et blanc de type argentique avec des résolutions limitées posent des défis lors de la digitalisation, notamment pour distinguer les différents types d'agriculture, ce qui a limité la classification à seulement trois catégories. Il a parfois été nécessaire de réajuster la luminosité et le contraste des rasters pour mieux identifier l'occupation des sols. D'ailleurs, bien que ces orthophotographies aient été prises à la même saison (avril et mai), le contexte météorologique reste inconnu, rendant difficile la détermination de la phase hydrologique du cours d'eau, ce qui limite la précision de l'analyse des caractéristiques comme la largeur de la rivière (Bonnot, 2020). Par ailleurs, les tracés eux-mêmes peuvent ne pas être fidèles à la réalité. Par exemple, les feuilles d'État-Major, bien qu'émanant de l'IGN, présentent des incertitudes planimétriques⁴² (voir *Figure 27*).

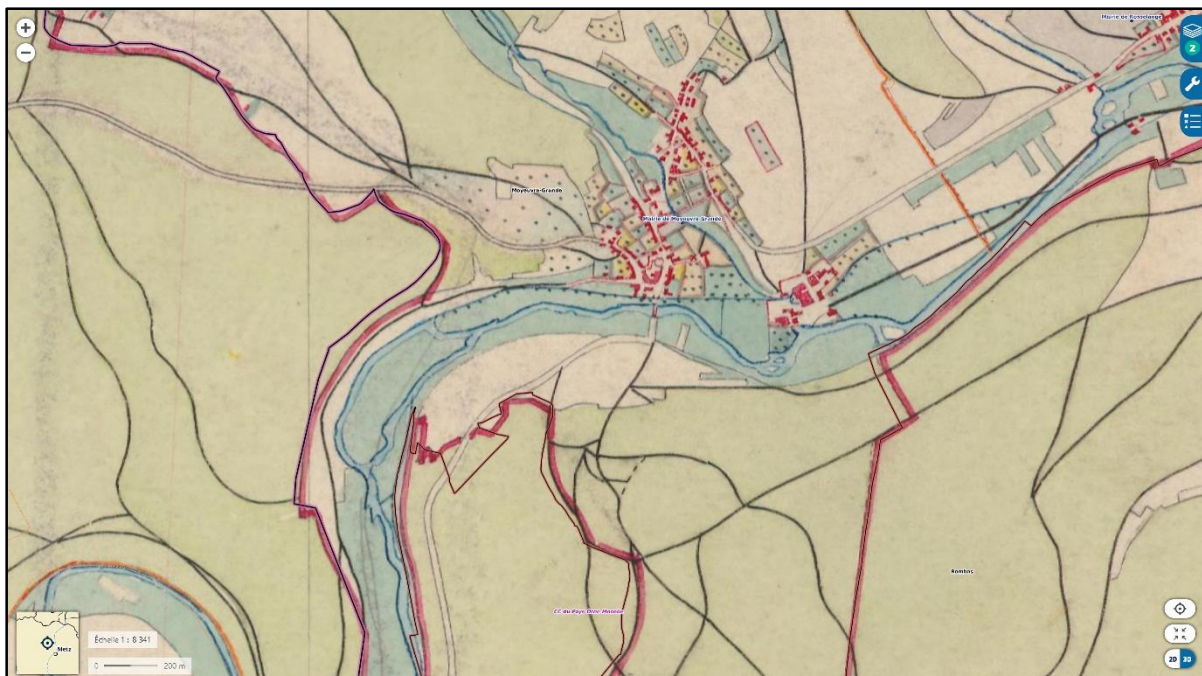


Figure 27 : Exemple de mauvais calage dans le découpage administratif actuel (rouge fine) et avant (rouge grasse), Géoportail (à Moyeuvre-Grande)

⁴¹ Comme par exemple, voici un site allemand qui comprend des histoires de la Moselle : <https://moselkommission.org/>

⁴² Selon la méthodologie nationale pour le géoréférencement des cartes d'État-Major : <https://geoservices.ign.fr/>

De plus, les orthophotographies peuvent engendrer des décalages, bien que l'erreur de géoréférencement ne dépasse pas 5 mètres en moyenne (voir *Figure 28*).

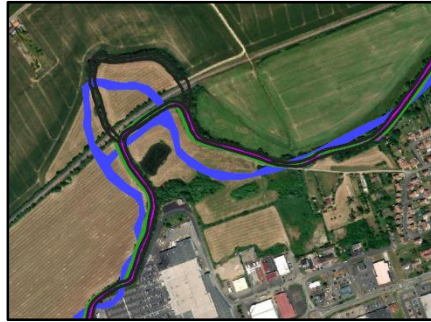


Figure 28 : Exemple d'une erreur de géoréférencement

Concernant la frise chrono-systémique, celle-ci s'est révélée précieuse pour illustrer les changements d'un territoire et définir la nature de ces évolutions. Elle sert non seulement à mettre en lumière les résultats mais également à encourager la réflexion. Elle facilite la visualisation des lacunes en termes de données sur certaines thématiques ou périodes. Cependant, l'absence de données ne doit pas être interprétée comme une absence d'événements. Par exemple, l'absence des phénomènes météorologiques avant 1920 (voir *Figure 25*) ne signifie pas que cette période a été dépourvue d'événements météorologiques. Cela souligne l'importance, lors de l'utilisation d'une frise chrono-systémique, de préciser les données disponibles afin d'éviter les erreurs d'interprétation. Il est également important de noter que, faute de travail de terrain, nous n'avons pas pu présenter la frise à de nombreux acteurs locaux. L'intégration d'avis extérieurs aurait permis de vérifier et de compléter les données recueillies.

En termes de perspectives, il serait bénéfique de développer des versions interactives de la frise chrono-systémique, permettant aux utilisateurs de naviguer facilement entre les différentes périodes et thématiques. L'ajout de fonctionnalités telles que des filtres pour sélectionner des indicateurs spécifiques ou des annotations explicatives pour chaque événement pourrait enrichir l'expérience utilisateur et améliorer la compréhension territoriale. D'ailleurs, pour une expérience immersive, une cartographie narrative sera réalisée après ma soutenance. Pendant un mois, à travers la plateforme StoryMaps, nous allons créer un récit interactif qui permettra aux utilisateurs de visualiser de manière plus engageante (voir *Figure 29*). Cette approche facilitera l'interprétation des données et encouragera une plus grande interaction avec le public. Parallèlement, nous procéderons au dépôt d'une partie des données pour intégrer cette étude à une démarche de science ouverte. Cela permettra non seulement d'assurer la transparence et la reproductibilité de la recherche, mais aussi de favoriser la collaboration avec d'autres chercheurs et institutions.

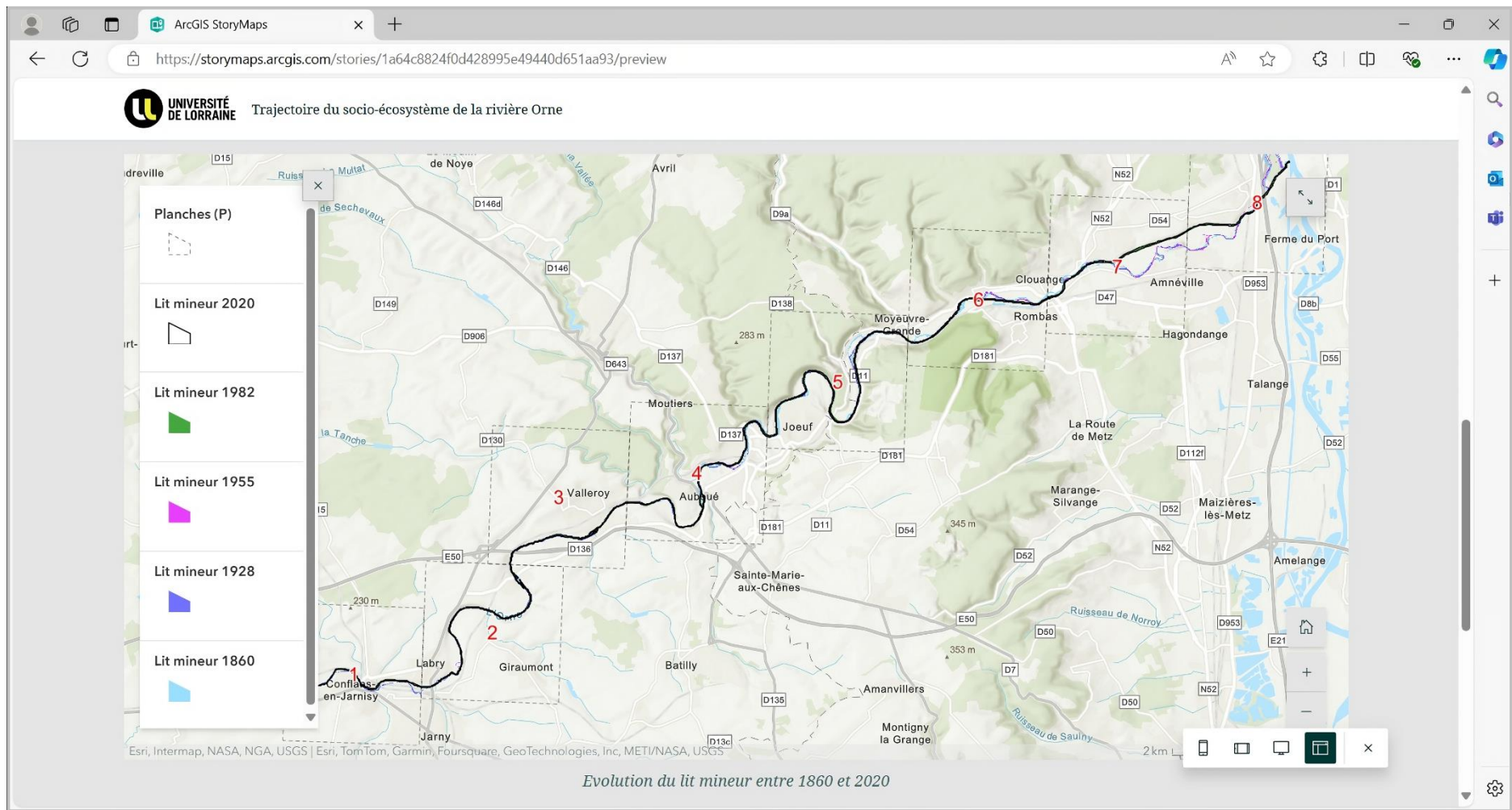


Figure 29 : Exemple de visualisation de cartographie narrative sur StoryMaps

Conclusion

Cette étude a examiné l'évolution complexe du socio-éco-technosystème dans la vallée de l'Orne sur une période de 164 ans, en analysant en détail les interactions entre l'homme et la nature ainsi que les effets de l'industrialisation sur la démographie, l'utilisation des sols et la morphologie de la rivière. L'usage de la frise a permis une analyse à la fois spatiale et temporelle du territoire. En effet, l'analyse chrono-systémique a mis en lumière les liens étroits entre l'évolution de la vallée, l'essor industriel et les changements de paradigmes, révélant des phases distinctes de croissance et de déclin intimement liées aux fluctuations économiques et aux crises industrielles. La transition des villages agricoles vers des zones urbanisées, suivie d'actions de renaturation et de préservation des espaces verts, souligne l'importance de la gestion durable des terres et des efforts de réhabilitation écologique. L'approche socio-écosystémique adoptée dans cette étude s'est avérée efficace pour analyser les dynamiques territoriales sur le long terme, en intégrant des données interdisciplinaires et en fournissant des perspectives détaillées sur les processus en jeu. Bien que les résultats obtenus soient riches en informations, leur complexité peut poser des défis d'interprétation, notamment pour les décideurs politiques en quête de représentations claires et facilement compréhensibles. Cependant, la frise chrono-systémique demeure un outil précieux pour suivre l'évolution du territoire sur le long terme et pour regrouper les données disponibles. L'utilisation de cartes narratives aidera à mieux visualiser et à comprendre les transformations du paysage, renforçant ainsi la pertinence des outils pour la gestion des territoires. Les résultats de cette étude ont suscité un intérêt notable lors de divers événements scientifiques, témoignant de leur valeur pour les chercheurs et les acteurs locaux. Les données collectées et produites seront déposées sur une plateforme de jeu de données agréée par l'Université de Lorraine dans le cadre de la science ouverte. Les perspectives futures incluent l'extension de cette méthodologie à l'ensemble du bassin versant de la Moselle. Pour terminer, cette étude constitue une base solide pour des recherches futures et pour l'élaboration de stratégies de développement territorial durable.

Références

Alignier A. *et al.*, 2020. *Trajectoires des systèmes bocagers du nord de la zone atelier armorique : approche chrono-systémique des déterminants de la relation de l'homme à la haie*, 5^{ème} colloque des Zones Ateliers.

Arnaud F., 2019. *Potentialités des frises chrono-systémiques pour co-construire, analyser et communiquer sur les trajectoires socio-écologiques des OHM*. Lyon: LabEx DRIIHM.

Barbier E. B., Acreman M. & Knowler D., 1997. Economic valuation of wetlands, guide for policy makers and planners. Dans: University of York, éd. *The RAMSAR Convention on Wetlands*. Suisse: Ramsar Convention Bureau, p. 138.

Bergeret A. *et al.*, 2015. L'outil-frise : dispositif d'étude interdisciplinaire du changement territorial. *Revue indisciplinaire de sciences sociales*, pp. 1-24.

Bernard S., 1977. La Lorraine face à la crise sidérurgique. *Economie et statistique*, pp. 29-36. <https://doi.org/10.3406/estat.1977.3115>

Bonnot E., 2020. *Analyse diachronique du tracé des cours d'eau et des aménagements en zone inondable dans le bassin de la Moselle aval depuis le XIX^{ème} siècle : étude réalisée dans le cadre du Programme d'Action et de Prévention des Inondations de la Moselle aval*, Montigny-les-Metz: Laboratoire LOTERR.

Bretagnolle V. *et al.*, 2019. *Ecology and Society*, 24 (3).

Castro M. & Arnauld de Sartre A., 2014. De la biodiversité aux services écosystémiques : Approche quantitative de la généalogie d'un dispositif. Dans: P. Lang, éd. *Political ecology des services écosystémiques*. Bruxelles: PIE, pp. 49-83.

Chalard L., 2007. Des villes françaises en net déclin démographique. Le cas de communes anciennement industrielles. *Population et Avenir*, 683 (3), pp. 15-19.

Charpentier I. & Viviani C., 2022. Trajectoire des socio-écosystèmes et représentation logicielle – Application au socio-hydrosystème de la Ligne Maginot Aquatique. *Dynamiques environnementales - Journal international de géosciences et de l'environnement*, pp. 1-22.

Cognard V., Baltzinger C., Robert A. & Servain S., 2020. *Gouvernance et changements de trajectoire au sein du domaine national de Chambord : un territoire emmuré depuis 5 siècles*, 5^{ème} colloque des Zones Ateliers.

Costanza R. *et al.*, 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, Volume 387, pp. 253-260.

Daily G., 1997. Introduction : What are ecosystem services ?. *Nature's Services: Societal Dependence On Natural Ecosystems*, pp. 1-10.

⁴³ La norme utilisée pour la bibliographie : Harvard - Angila (2008)

Delus C., Bonnot E. & François D., 2021. *Étude historique des évènements et de l'évolution des enjeux territoriaux sur le périmètre du PAPI d'intention du bassin versant de la Moselle Aval*, Montigny-les-Metz: Laboratoire LOTERR.

Delus C. *et al.*, 2020. *Étude historique du bassin versant de la Meurthe*, LOTERR.

Díaz S. *et al.*, 2015. The IPBES conceptual framework. Connecting nature and people. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, Volume 14, pp. 1-16.

Dupras J., 2014. *Évaluation économique des services écosystémiques dans la région de Montréal : analyse spatiale et préférences exprimées*. Canada: Université de Montréal.

Edelblutte S., 2018. Ville-usine, ville industrielle, ville d'entreprise... Approches croisées du fait industrialo-urbain. *Revue Géographique de l'Est*, 58, pp. 3-4.

Elissalde B., 2000. Géographie, temps et changement spatial. *L'espace géographique*, 29 (3), pp. 224-236.

Giacona F., Martin B., Eckert N. & Desarthe J., 2019. Une méthodologie de la modélisation en géohistoire : de la chronologie (spatialisée) des événements au fonctionnement du système par la mise en correspondance spatiale et temporelle. *Géographie Physique et Environnement*, 14 (1), pp. 171-199.

Guerbois C. *et al.*, 2020. *Evolution des contributions de la nature aux hommes dans le socio-écosystème de Hwange : vers une construction transdisciplinaire de sa trajectoire*, 5^{ème} colloque des Zones Ateliers.

Haines-Young R. & Potschin M., 2010. The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being. Dans: G. David, éd. *The degradation of ecosystem services poses a significant barrier to the achievement of the Millennium Development Goals and the MDG targets for 2015*. Cambridge: British Ecological Society.

Halilou M. G. H., 2009. *Estimation des valeurs des biens et services produits par une aire protégée : cas du Parc Régional W*. Niger: Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement.

Hamman P., 2017. *Ruralité, nature et environnement. Entre savoirs et imaginaires*, Toulouse: Erès.

ICRA, 1993. *Coordination des Associations Pluralistes de Professeurs*. [En ligne]. Available at: http://www.capp-asbl.be/travail_interdisciplinaire.pdf [Accès le 17 Avril 2024].

inee.cnrs.fr, 2018. *CNRS Écologie & Environnement*. [En ligne]. Available at: <https://www.inee.cnrs.fr/fr/zones-ateliers> [Accès le 19 Avril 2024].

Kang Y. S., Demassieux L., Royer J. J. & Chambon C. L., 1992. Modélisation et prévision des chroniques : Application à l'évolution temporelle de l'exhaure minière lorrain. *Hydrological Sciences Journal*, 37 (6), pp. 581-597.
<https://doi.org/10.1080/02626669209492625>

Lagadeuc Y. & Chenorkian R., 2009. Les systèmes socio-écologiques : vers une approche spatiale et temporelle. *Natures Sciences Societes*, 17 (2), pp. 194-196.

Lebaut S., 2019. *Présentation du bassin versant de la Moselle*. Metz (Moselle): Laboratoire LOTERR.

Liu J. *et al.*, 2007. Complexity of Coupled Human and Natural Systems. *Science*, 317 (5844), pp. 1513-1516.
<https://doi.org/10.1126/science.1144004>

Massicotte E., 2012. *Évaluation de la valeur économique des biens et services écologiques : démarche, méthodes et exemple du lac Brompton*, Canada: Sherbrooke.

Mbarek M., 2016. *Evaluation économique des Aires Marines Protégées : apports méthodologiques et applications aux îles Kuriat*. France: Université d'Angers.

McPhearson, T. *et al.*, 2022. A social-ecological-technological systems framework for urban ecosystem services. *50 One Earth*, 5 (5), pp. 505-518.
<https://doi.org/10.1016/j.oneear.2022.04.007>

MEA, 2005. Ecosystems and human well-being. Dans: *Millennium Ecosystem Assessment*. United States of America: World Resources Institute, p. 155.

Méral P., 2012. Le concept de service écosystémique en économie : origine et tendances récentes. *Natures Sciences Sociétés*, 20 (1), pp. 3-15.
<https://doi.org/10.1051/nss/2012002>

mmsh.fr, 2022. *Maison méditerranéenne des sciences de l'Homme*. [En ligne]
Available at: <https://www.mmsh.fr/science-ouverte/> [Accès le 24 Avril 2024].

Nasseh A., Texier H., Lacroix M. & Ouddane B., 1999. *Transport de la charge solide dans le bassin versant de l'Orne. Composition, variabilité et flux (1994-1995)*. éd. 11, 103-125: Hydroécologie Appliquée.
<https://doi.org/10.1051/hydro:1999004>

Origgi G. & Darbellay F., 2010. *Repenser l'interdisciplinarité*, Genève: Slatkine.

Ostrom E., 2007. *A diagnostic approach for going beyond panaceas*, Worcester: Clarck University.

Petit A., 2019. *La science ouverte : une révolution nécessaire* [Interview] (8 Octobre 2019).

Picon M., 2014. *Autour de l'Orne industrielle : Paysages industriels hérités*, Nancy: Conservatoire National des Arts et Métiers - Ecole Supérieure des Géomètres et Topographes.

Pinault L., 2021. *Etude chrono-systémique de la trajectoire d'un socio-écosystème à travers les liens Homme-Nature, l'exemple de l'île du Rohrschollen*, Angers: Université d'Angers.

Pinault L., Charpentier I. & Glatron S., 2020. *L'île du rohrschollen sur le rhin, un socio-éco-techno-système naturel ?*, 5^{ème} colloque des Zones Ateliers.

Rogé M. & Walterspieler M., 1982. Chronique lorraine : L'eau et la sidérurgie en Lorraine. Le football lorrain. *Revue Géographique de l'Est*, 22 (3), pp. 295-313.
<https://doi.org/10.3406/rgest.1982.1422>

Sabrié M.-L. *et al.*, 2023. *Pas de science de la durabilité sans science ouverte*, Montpellier: Institut de Recherche pour le Développement.

Salles J.-M., 2010. Évaluer la biodiversité et les services écosystémiques : pourquoi, comment et avec quels résultats ?. *Natures Sciences Societes*, 18 (4), pp. 414-423.

scienceouverte.univ-grenoble-alpes.fr, 2020. *Science Ouverte - Université de Grenoble*. [En ligne]. Available at: <https://scienceouverte.univ-grenoble-alpes.fr/donnees/cycle-de-vie-principes-fair/> [Accès le 07 05 2024].

Spiegelberger T. *et al.*, 2018. Construction interdisciplinaire d'une trajectoire socio-écologique de vulnérabilité à l'exemple du territoire des Quatre Montagnes (Isère, France) de 1950 à 2016. *Revue de géographie Alpine*, 106 (3).

Tamisier V., Gob F., Bilodeau C. & Thommeret N., 2017. Caractérisation hydromorphologique des cours d'eau français. Dans: U. d. P. Panthéon-Sorbonne, éd. *Valorisation des données Carhyce pour la construction d'un outil d'aide à la gestion des cours d'eau* : CNRS, p. 142.

Trompette P. & Vinck D., 2009. Retour sur la notion d'objet-frontière. *Revue d'anthropologie des connaissances*, 3 (1), pp. 5-27.

Vasile A., Guillaume S., Aouini M. & Michaud A., 2020. Le Digital Object Identifier, une impérieuse nécessité ?. Dans: A.D.B.S, éd. *L'exemple de l'attribution de DOI à la Collection Pangloss, archive ouverte de langues en danger*. I2D - Information, Données & Documents, pp. 155-175.

Viviani C. D., 2020. *Les étangs-réservoirs de la Ligne Maginot Aquatique : un socio-écosystème durable ?*, Montign-les-Metz: Université de Lorraine.

Wenner J.-T., 2019. *Caractérisation historique des cours d'eau du bassin Rhin-Meuse pour l'appui à l'action territoriale (Restauration hydromorphologique)*, Strasbourg: Agence de l'eau | Rhin-Meuse.

Wiederkehr E., Dufour S., Piégay H. & Bertrand M., 2012. *Indicateurs de caractérisation physique des milieux aquatiques*, Lyon: Zone Atelier Bassin du Rhône.

Wilkinson M. D. *et al.*, 2018. A design framework and exemplar metrics for FAIRness. *Scientific Data*, 3 (180118).

WWF, 2010. *Planète vivante*, France: World Wildlife Fund.

Glossaires

- Anthropique** : C'est un phénomène entretenu par l'action consciente ou inconsciente de l'homme.
- Barrage** : C'est un ouvrage construit à travers d'un cours d'eau et qui retient l'eau.
- Bassin versant** : C'est toute ou une partie d'un bassin hydrographique. La limite du bassin versant est d'ordre topographique, c'est-à-dire qu'elle est représentée par la ligne de crête le séparant du bassin versant voisin.
- Biodiversité** : C'est une diversité du monde vivant à tous les niveaux : diversité du milieu, diversité des espèces.
- Changement climatique** : C'est un phénomène d'augmentation des températures moyennes des océans et de l'atmosphère, au niveau planétaire.
- Débit** : C'est le volume d'eau qui traverse une section transversale d'un cours d'eau par unité de temps, exprimé en m³/s.
- Eau d'exhaure** : C'est le détournement par puisage ou pompage des eaux d'infiltration des mines et des milieux souterrains.
- Ennoyage** : C'est le processus délibéré de submerger une mine ou une autre structure souterraine avec de l'eau.
- Exutoire** : C'est le point le plus en aval du réseau hydrographique, par lequel passent toutes les eaux de ruissellement drainées par le bassin versant.
- Lit mineur** : C'est l'espace recouvert par les eaux coulant à pleins bords avant débordement. C'est donc la zone où les eaux s'écoulent en temps normal.
- Méandre** : C'est une courbe que prend un cours d'eau dans son lit, résultant de l'érosion et du dépôt de sédiments le long de ses rives.
- Restauration** : C'est le processus visant à rétablir ou à améliorer l'état d'une zone naturelle ou d'un écosystème dégradé ou endommagé.
- Renaturation** : C'est de recréer de manière globale un fonctionnement écologique et une diversité biologique à l'état initial (plus ambitieux que la restauration).

Liste des acronymes et sigles

- BETA** : Bureau d'Economie Théorique et Appliquée
- BIOM** : Biogéographie de la Moselle
- CEGUM** : Centre d'Etudes Géographique de l'Université de Metz
- CERPA** : Centre d'Etudes et de Recherche sur les Paysages de Nancy
- CNRS** : Centre National de la Recherche Scientifique
- EHESS** : École des Hautes Études en Sciences Sociales
- DOREL** : Données de Recherche Lorraines
- DREAL** : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
- hab/km²** : Habitants par kilomètre carré
- ICRA** : International Centre for development oriented Research in Agriculture
- IGN** : Institut Géographique National
- INSEE** : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
- LIEC** : Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux
- ILTER** : Long-Term Ecosystem Research
- MEA** : Millennium Ecosystem Assessment
- MSH** : Maison des Sciences de l'Homme
- OHM** : Observatoires Hommes-Milieus
- OTELO** : Observation Terre et Environnement de Lorraine
- PLU** : Plan Local d'Urbanisme
- PPR** : Plan de Prévention de Risque
- SCR** : Système de Coordonnées de Référence
- SES** : Socio-Ecosystèmes
- SI** : Indice de Sinuosité
- SIG** : Système d'Information Géographique
- TVAP** : Taux de Variation Annuel de Population
- VNF** : Voie Navigable de France
- WMS** : Web Mapping Service
- ZAM** : Zone Atelier Moselle

Table des illustrations

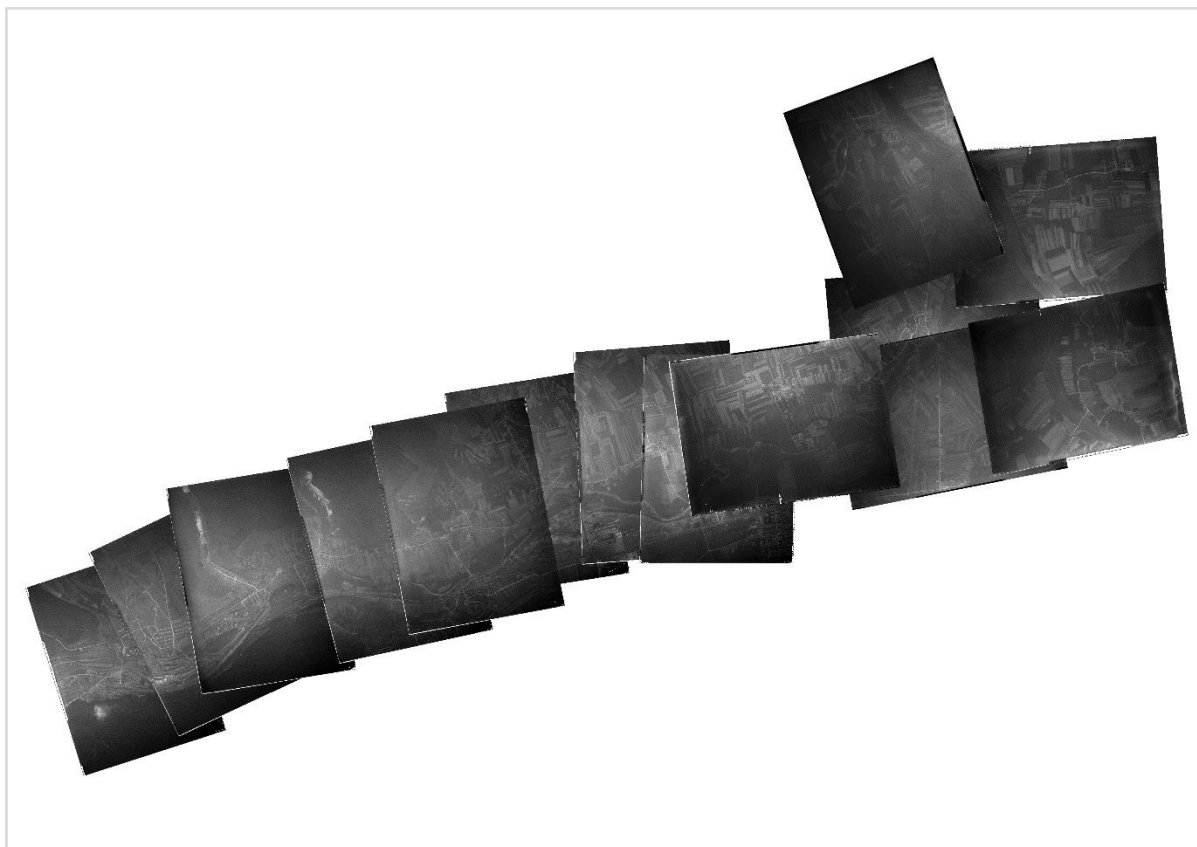
Figure 1 : Bassin versant de l'Orne dans la zone ferrifère	8
Figure 2 : Localisation du périmètre d'étude.....	15
Figure 3 : Relief et principaux cours d'eau du bassin versant de l'Orne	16
Figure 4 : Diagramme ombrothermique de Jarny (1991-2020)	17
Figure 5 : Régime hydrographique de l'Orne à Moyeuve-Grande (1968-2024).....	18
Figure 6 : Précipitations moyennes annuelles dans le bassin de l'Orne (2003-2022).....	18
Figure 7 : Principale occupation du sol dans le bassin versant de l'Orne	19
Figure 8 : Principales formations lithologiques dans le bassin versant de l'Orne	21
Figure 9 : Densité de la population en 2020 du bassin de l'Orne	22
Figure 10 : Extrait du tableur utilisé pour créer la frise.....	30
Figure 11 : Interface du logiciel ZATimeline	31
Figure 12 : Évolution de la population dans le bassin de l'Orne entre 1861 et 2020.....	37
Figure 13 : Taux de variation annuel de population (1861 - 1968).....	39
Figure 14 : Densité de population en 1968	40
Figure 15 : Système paternaliste à Jœuf (cités ouvrières, lotissements, collectivités).....	41
Figure 16 : Taux de variation annuel de population (1968 - 2020).....	42
Figure 17 : Evolution de l'indice de sinuosité de l'Orne entre 1830 et 2020	43
Figure 18 : Evolution du lit mineur entre 1830 et 2020	45
Figure 19 : Extrait de planche 1 (à gauche) et planche 2 (à droite)	46
Figure 20 : Extrait des images aériennes de l'IGN, retouchées sur Adobe Illustrator.....	46
Figure 21 : Explication des modifications du lit mineur, de la planche 4 à 8.....	48
Figure 22 : Evolution de l'occupation du sol entre 1830 et 2020 (en %)	49
Figure 23 : Carte diachronique de l'occupation du sol entre 1830 et 2021	51
Figure 24 : Exemple de dérivation de l'Orne.....	55
Figure 25 : Frise chrono-systémique de la rivière de l'Orne.....	56
Figure 26 : Comparaison de la superposabilité des cartes de Cassini et État-Major	58
Figure 27 : Exemple de mauvais calage dans le découpage administratif	59
Figure 28 : Exemple d'une erreur de géoréférencement	60
Figure 29 : Exemple de visualisation de cartographie narrative sur StoryMaps	61

Annexes

Annexe 1 : Nombre de la population totale dans le bassin versant de l'Orne

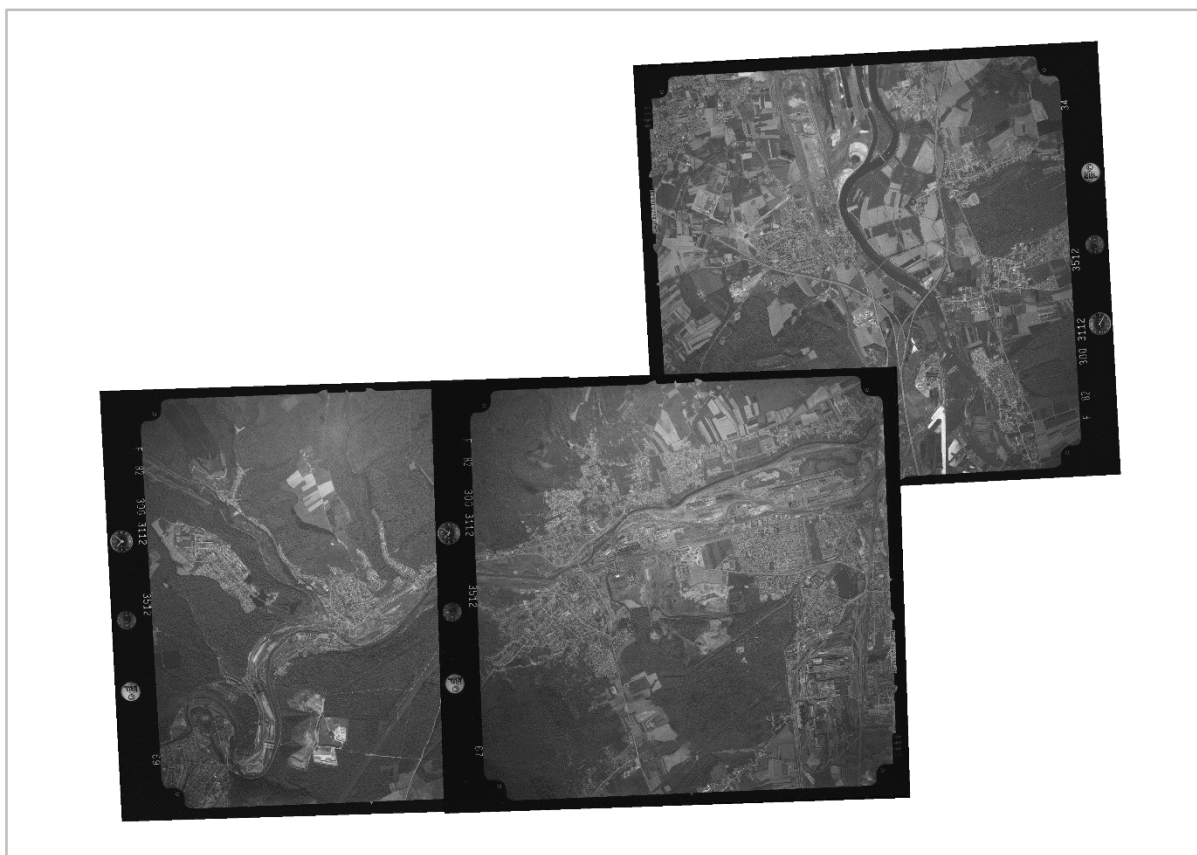
Années	Partie_54	Partie_55	Partie_57	BV_Orne_TOTAL
1861	25 983	36 202	15 934	78 119
1866	25 877	35 693	16 841	78 411
1872	25 341	34 112	16 090	75 543
1876	27 645	34 287	16 613	78 545
1881	26 626	32 802	16 981	76 409
1886	27 551	32 462	19 391	79 404
1891	26 641	31 221	21 039	78 901
1896	26 645	30 654	22 270	79 569
1901	32 187	29 499	33 964	95 650
1906	43 342	29 743	41 257	114 342
1911	55 716	28 526	47 273	131 515
1921	48 869	16 242	46 303	111 414
1926	64 567	19 337	53 428	137 332
1931	72 170	18 003	61 618	151 791
1936	65 478	17 872	55 679	139 029
1946	64 113	16 443	54 224	134 780
1954	74 103	17 023	67 162	158 288
1962	85 940	19 269	87 124	192 333
1968	82 082	16 171	99 852	198 105
1975	75 669	17 285	102 911	195 865
1982	69 165	16 996	93 307	179 468
1990	66 059	16 779	89 452	172 290
1999	65 016	17 261	87 820	170 097
2009	68 185	19 206	89 264	176 655
2020	67 862	18 542	93 652	180 056

Annexe 2 : Erreur quadratique moyenne des orthophotographies (1928)



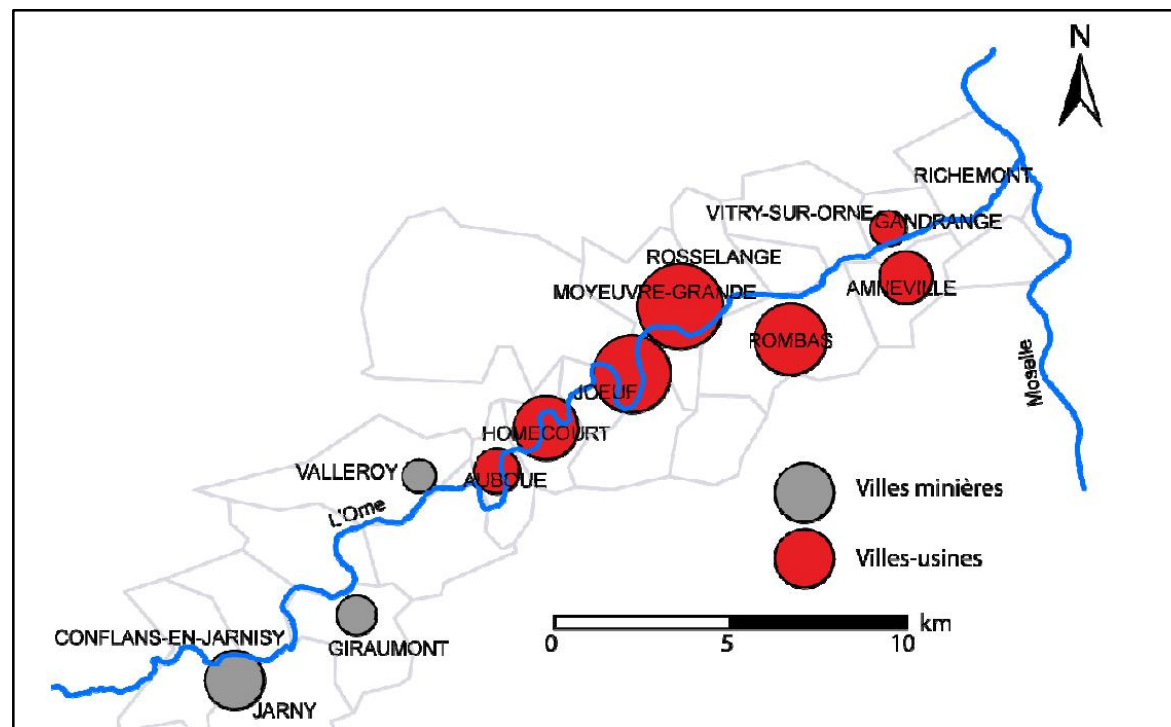
Sources / Missions	EMS
IGNF_PVA_1-0__1928__C3411-0561_1928_NP4_96025a	1,25464
IGNF_PVA_1-0__1928-04-25__C3411-0561_1928_NP4_89007	1,55656
IGNF_PVA_1-0__1928-04-25__C3411-0561_1928_NP4_89009	1,58859
IGNF_PVA_1-0__1928-04-25__C3411-0561_1928_NP4_89019bis	2,94556
IGNF_PVA_1-0__1928-04-25__C3411-0561_1928_NP4_89020	0,79395
IGNF_PVA_1-0__1928-04-26__C3411-0561_1928_NP4_104001	2,21594
IGNF_PVA_1-0__1928-04-26__C3411-0561_1928_NP4_104002	4,57895
IGNF_PVA_1-0__1928-04-26__C3411-0561_1928_NP4_104004	1,68117
IGNF_PVA_1-0__1928-04-26__C3411-0561_1928_NP4_104005	1,57017
IGNF_PVA_1-0__1928-04-26__C3411-0561_1928_NP4_104006	3,86535
IGNF_PVA_1-0__1928-04-26__C3411-0561_1928_NP4_104008	1,99858
IGNF_PVA_1-0__1928-04-26__C3411-0561_1928_NP4_104012	2,55876
IGNF_PVA_1-0__1928-04-26__C3411-0561_1928_NP4_104013	0,73904
IGNF_PVA_1-0__1928-05-28__C3411-0561_1928_NP4_96043	2,71613
	2,14739

Annexe 3 : Erreur quadratique moyenne des orthophotographies (1982)



Sources / Missions	EMS
IGNF_PVA_1-0__1982-05-13__C3112-0011_1982_F3112-3512_0034	1,00007
IGNF_PVA_1-0__1982-05-13__C3112-0011_1982_F3112-3512_0067	1,03963
IGNF_PVA_1-0__1982-05-13__C3112-0011_1982_F3112-3512_0069	0,98019
	1,00663

Annexe 4 : Les villes du fer et de l'acier dans la vallée de l'Orne au XX^e siècle (M. Picon, 2014)*

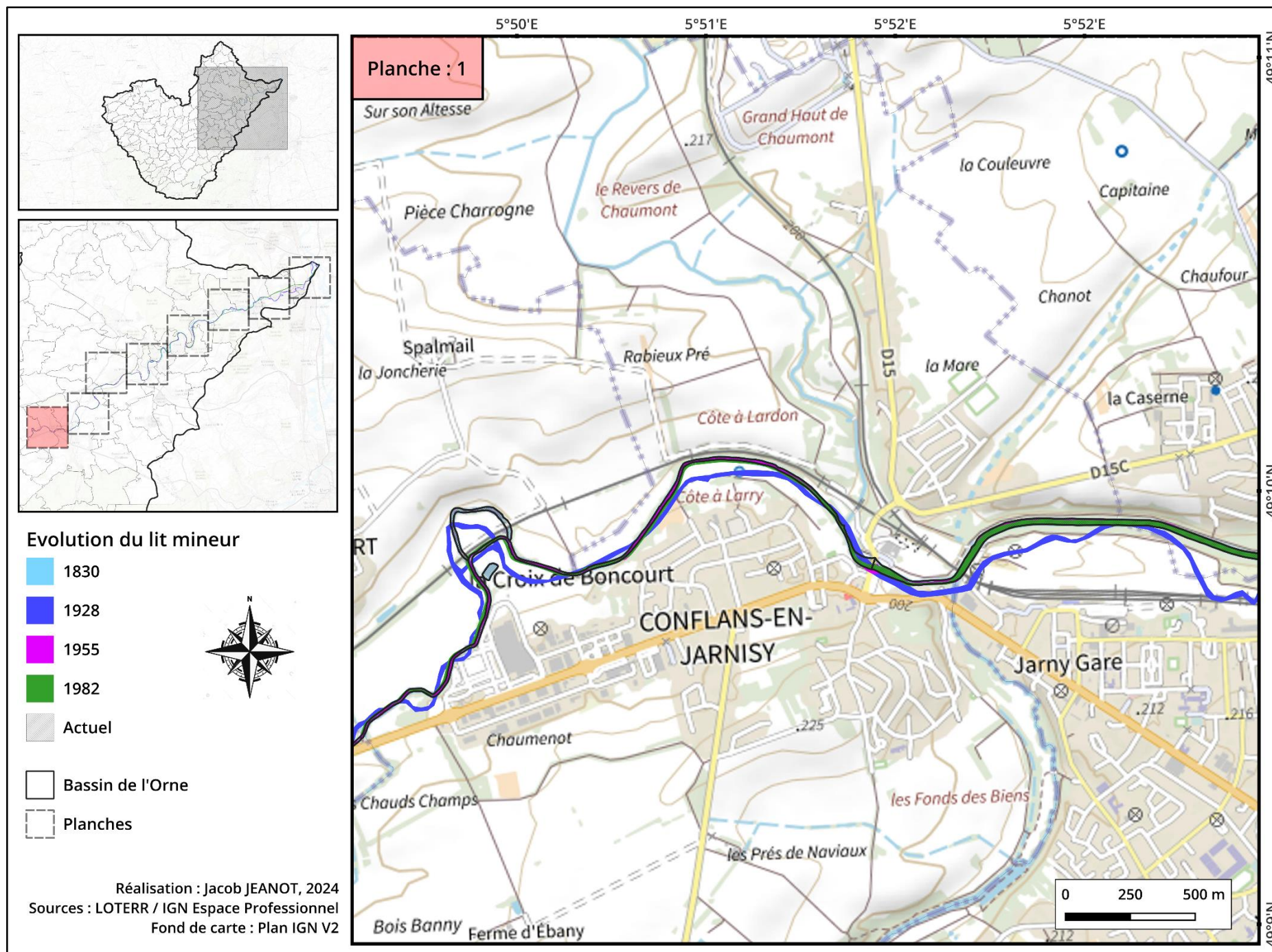


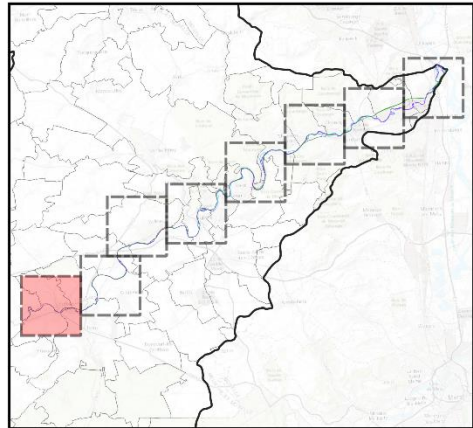
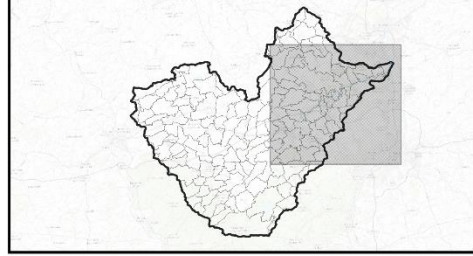
*La correspondance quantitative de la valeur de symbologie des cercles proportionnels est ici non identifiable

Annexe 5 : Valeur de l'indice de sinuosité de l'Orne à partir du Conflans-en-Jarnisy

3,50 km	1860				1928				1955				1982				2020			
	<i>S'</i>	Talweg (km)	Cumul (km)	VO (km)	<i>S'</i>	Talweg (km)	Cumul (km)	VO (km)	<i>S'</i>	Talweg (km)	Cumul (km)	VO (km)	<i>S'</i>	Talweg (km)	Cumul (km)	VO (km)	<i>S'</i>	Talweg (km)	Cumul (km)	VO (km)
P1	1,42	5,04	5,04	3,54	1,42	5,04	5,04	3,54	1,32	4,72	4,72	3,59	1,32	4,68	4,68	3,55	1,31	4,65	4,65	3,54
P2	1,55	6,15	11,19	3,98	1,55	6,15	11,19	3,98	1,65	6,34	11,06	3,85	1,59	6,12	10,79	3,85	1,60	6,14	10,79	3,85
P3	1,12	3,76	14,95	3,36	1,12	3,76	14,95	3,36	1,03	3,78	14,84	3,67	1,13	3,78	14,57	3,36	1,12	3,78	14,57	3,37
P4	1,73	6,84	21,78	3,96	1,74	6,87	21,82	3,95	1,72	6,77	21,61	3,95	1,67	6,60	21,17	3,95	1,68	6,65	21,21	3,95
P5	1,93	8,33	30,11	4,32	1,84	8,00	29,82	4,35	1,84	7,95	29,56	4,33	1,82	7,90	29,07	4,35	1,83	7,93	29,14	4,33
P6	1,21	4,52	34,63	3,75	1,17	4,33	34,15	3,70	1,17	4,34	33,90	3,70	1,11	4,11	33,19	3,70	1,11	4,11	33,25	3,70
P7	1,34	5,01	39,64	3,74	1,36	5,14	39,29	3,78	1,26	4,78	38,69	3,78	1,05	4,16	37,34	3,97	1,05	4,15	37,40	3,97
P8	1,50	5,10	44,75	3,39	1,62	5,40	44,69	3,34	1,62	5,53	44,21	3,41	1,09	3,44	40,78	3,14	1,10	3,55	40,96	3,22

Annexe 6 : Atlas sur l'évolution du lit mineur entre 1830 et 2020





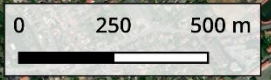
Evolution du lit mineur

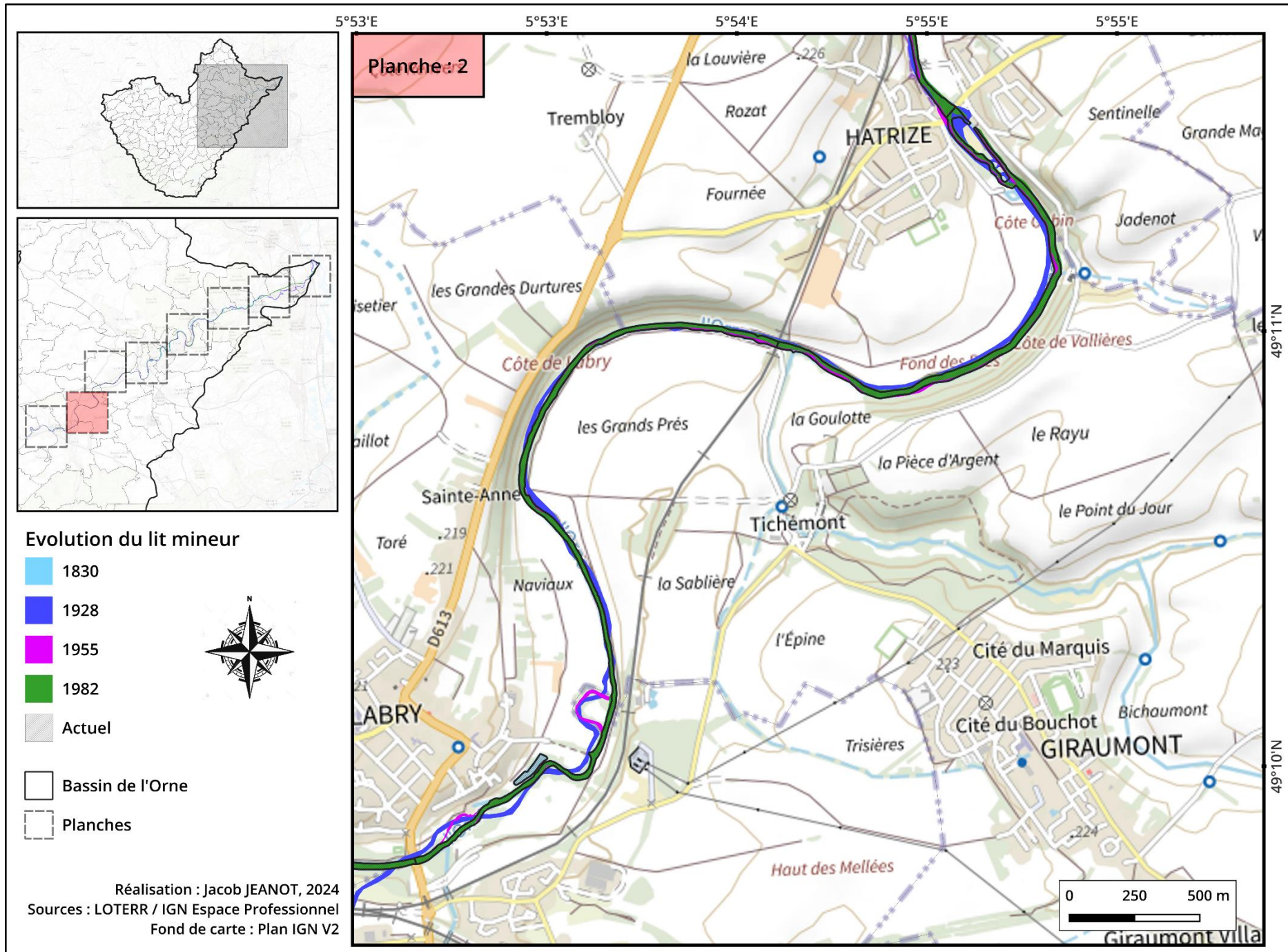
- 1830
- 1928
- 1955
- 1982
- Actuel



- Bassin de l'Orne
- Planches

Réalisation : Jacob JEANOT, 2024
 Sources : LOTERR / IGN Espace Professionnel
 Fond de carte : ESRI World Imagery





5°53'E

5°53'E

5°54'E

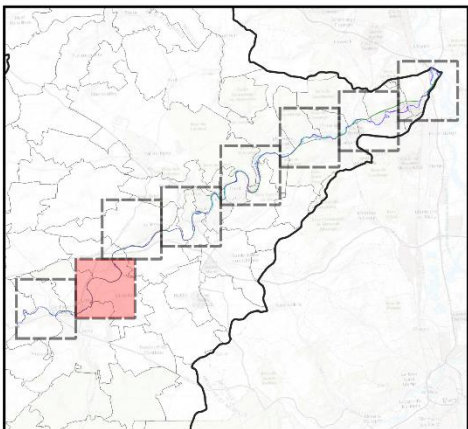
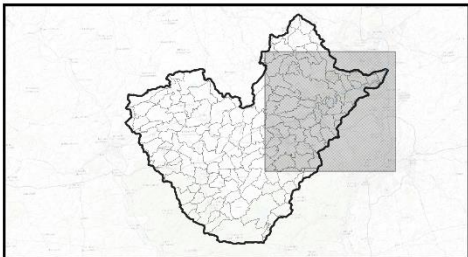
5°55'E

5°55'E

49°11'N

49°10'N

Planche : 2



Evolution du lit mineur

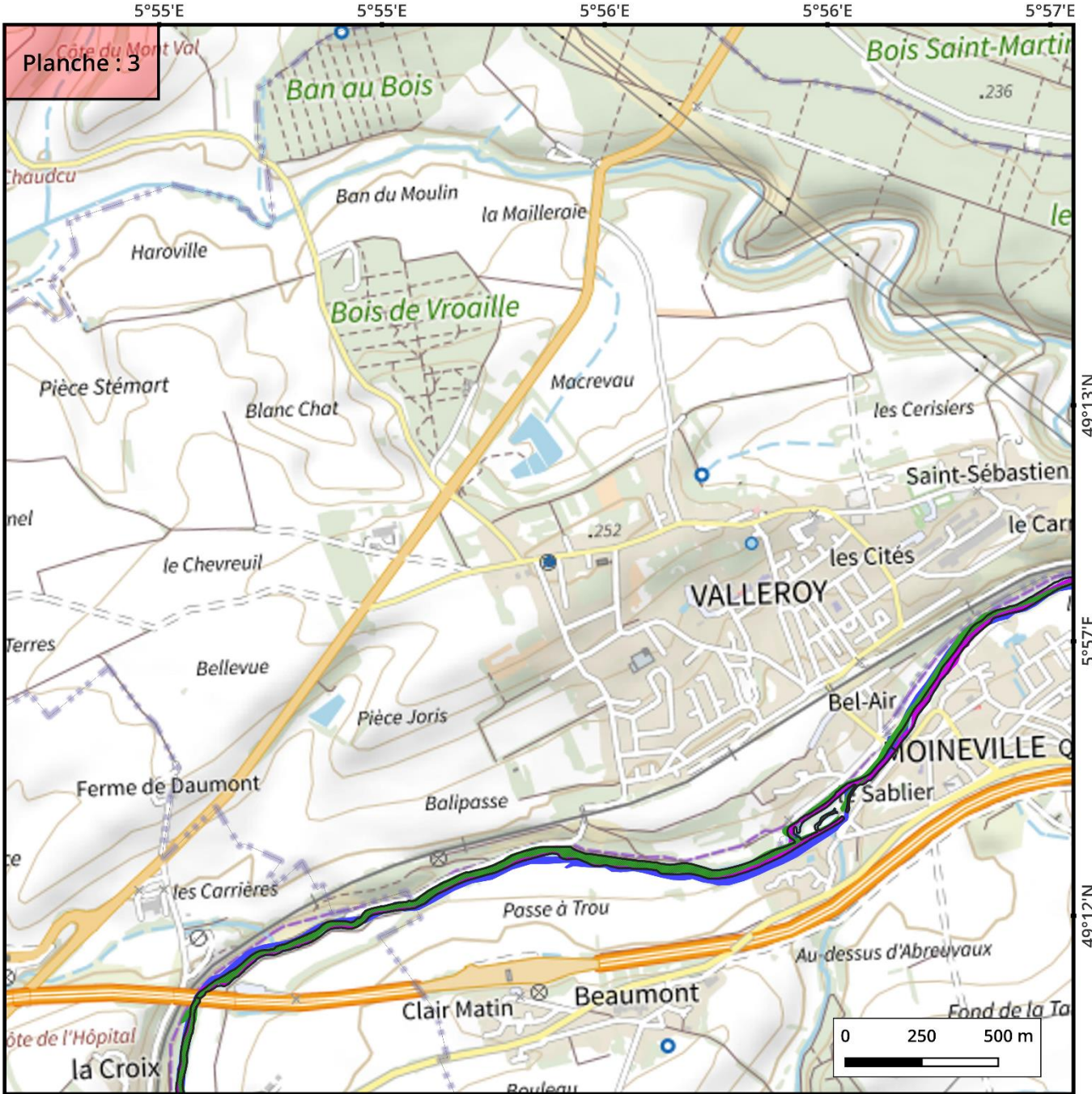
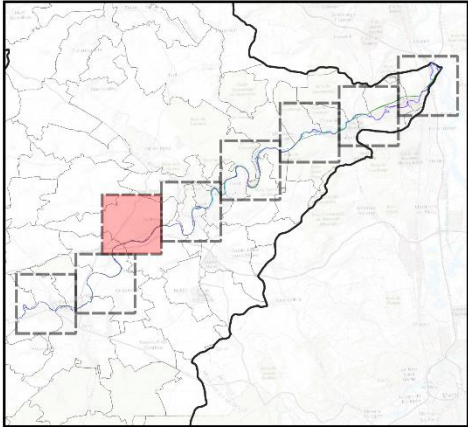
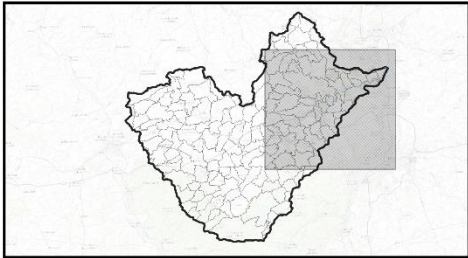
- 1860
- 1928
- 1955
- 1982
- Actuel



- Bassin de l'Orne
- Planches

Réalisation : Jacob JEANOT, 2024
 Sources : LOTERR / IGN Espace Professionnel
 Fond de carte : ESRI World Imagery





5°55'E

5°55'E

5°56'E

5°56'E

5°57'E

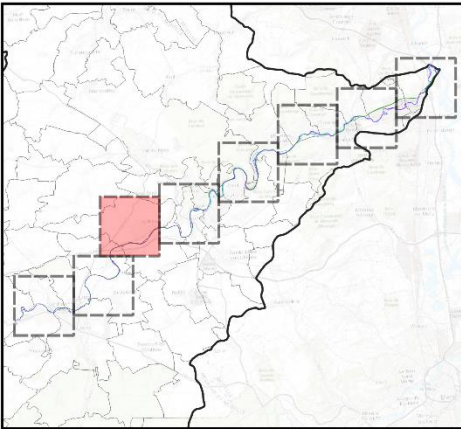
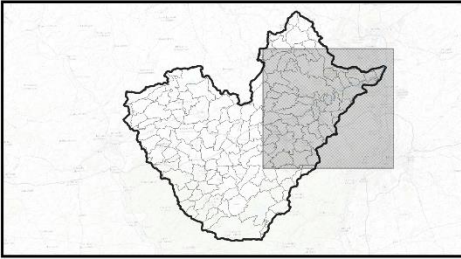
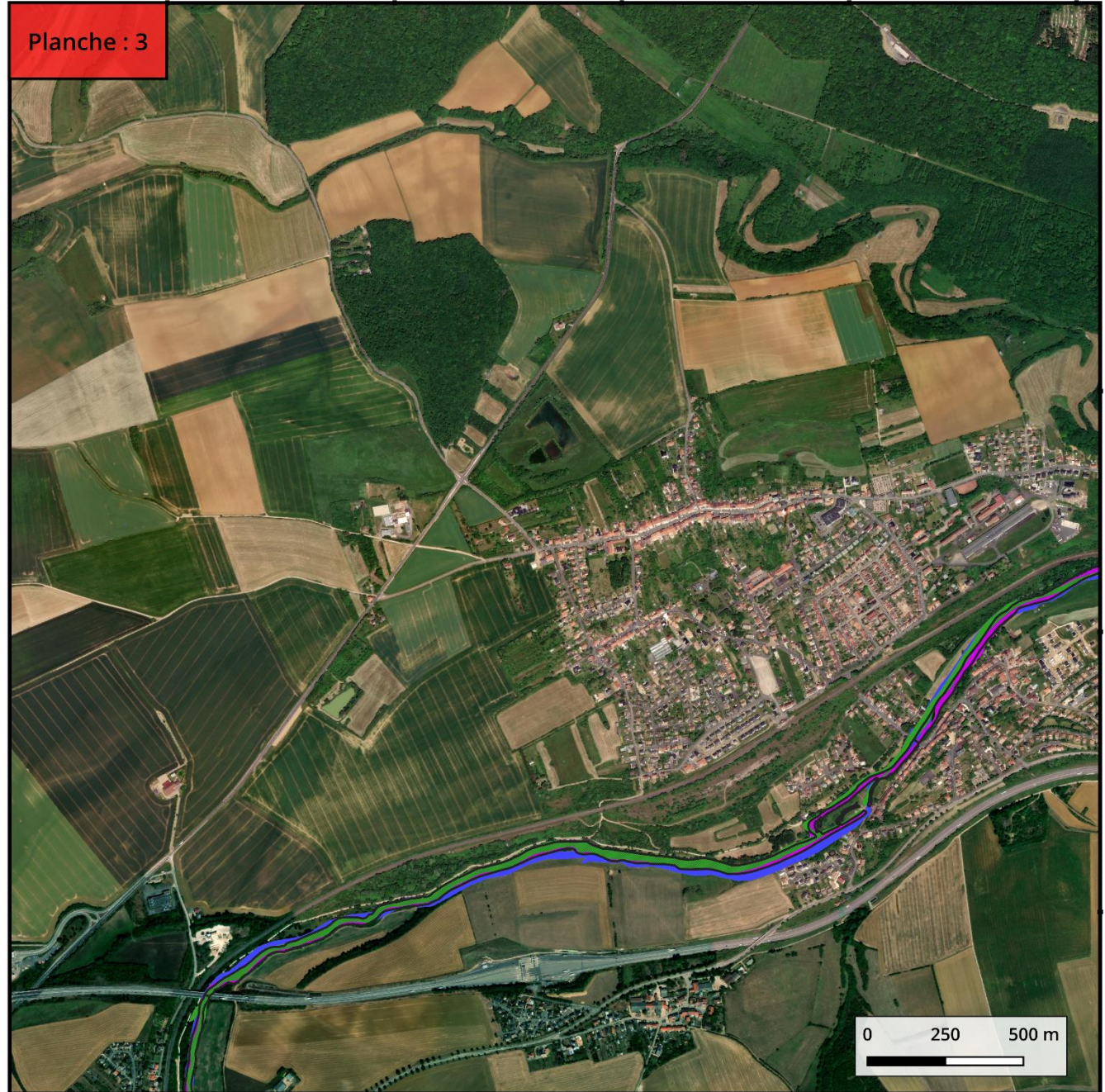


Planche : 3



49°13'N

5°57'E

49°12'N

Evolution du lit mineur

- 1830
- 1928
- 1955
- 1982
- Actuel



- Bassin de l'Orne
- Planches

Réalisation : Jacob JEANOT, 2024
 Sources : LOTERR / IGN Espace Professionnel
 Fond de carte : ESRI World Imagery



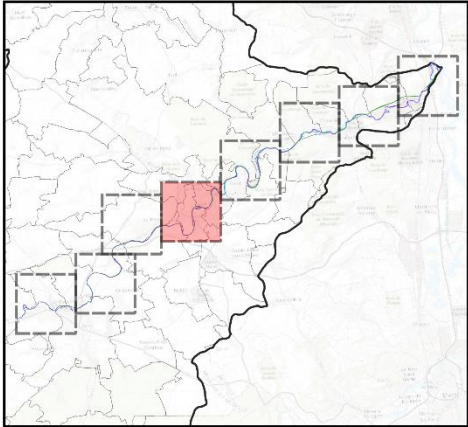
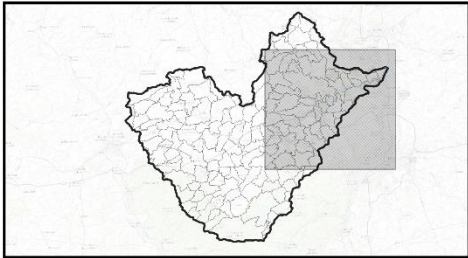
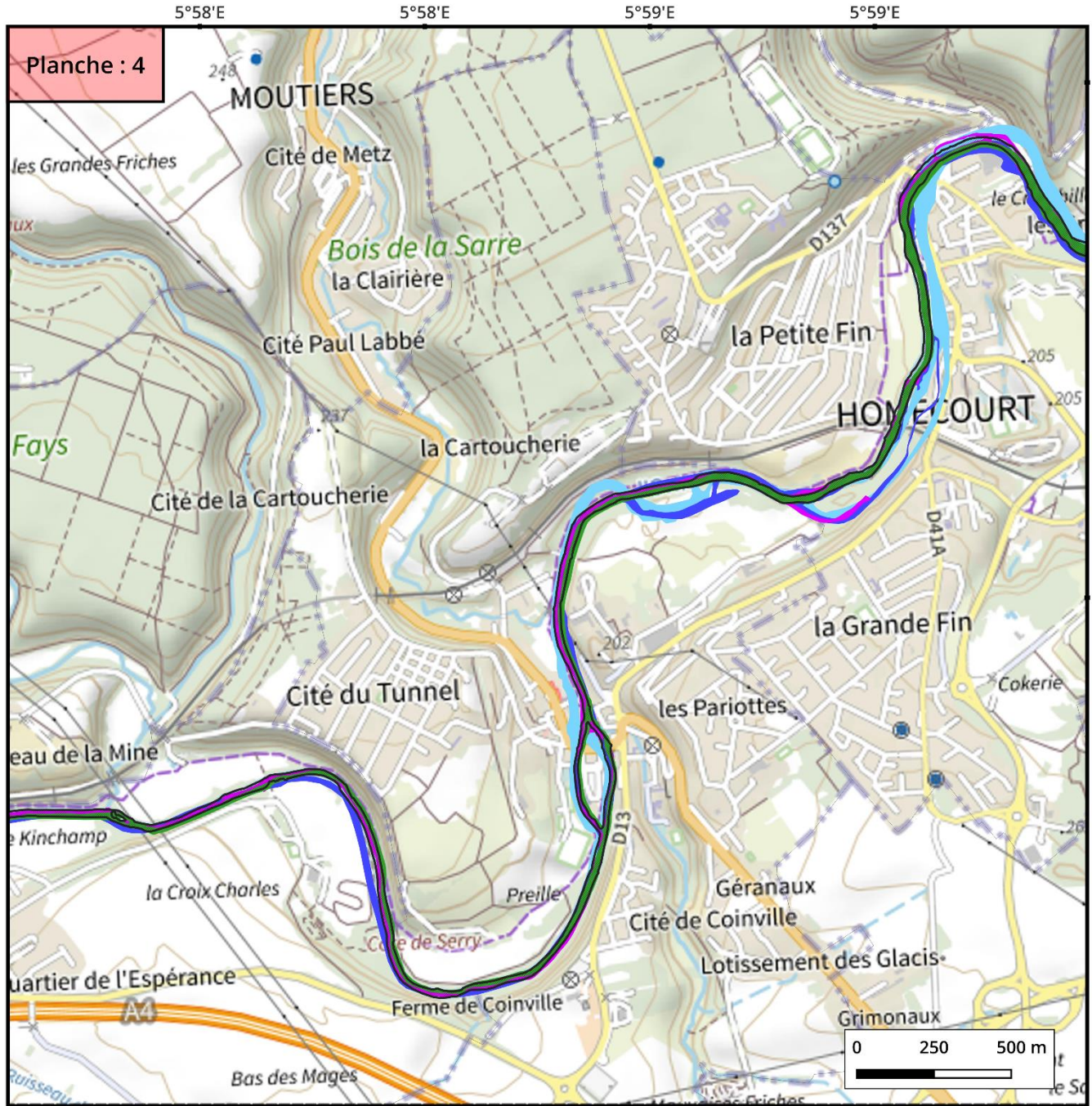


Planche : 4



Evolution du lit mineur

- 1830
- 1928
- 1955
- 1982
- Actuel



- Bassin de l'Orne
- Planches

Réalisation : Jacob JEANOT, 2024
 Sources : LOTERR / IGN Espace Professionnel
 Fond de carte : Plan IGN V2



5°58'E

5°58'E

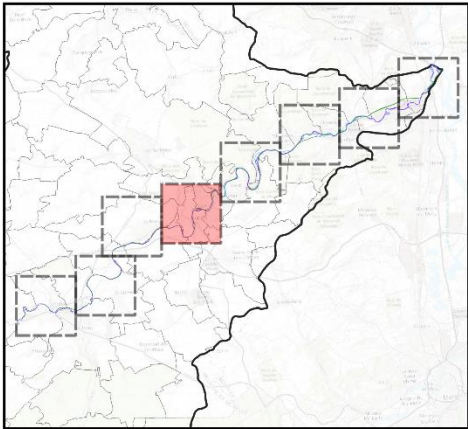
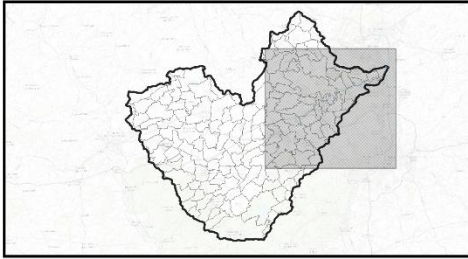
5°59'E

5°59'E

49°14'N

49°13'N

Planche : 4



Evolution du lit mineur

1830

1928

1955

1982

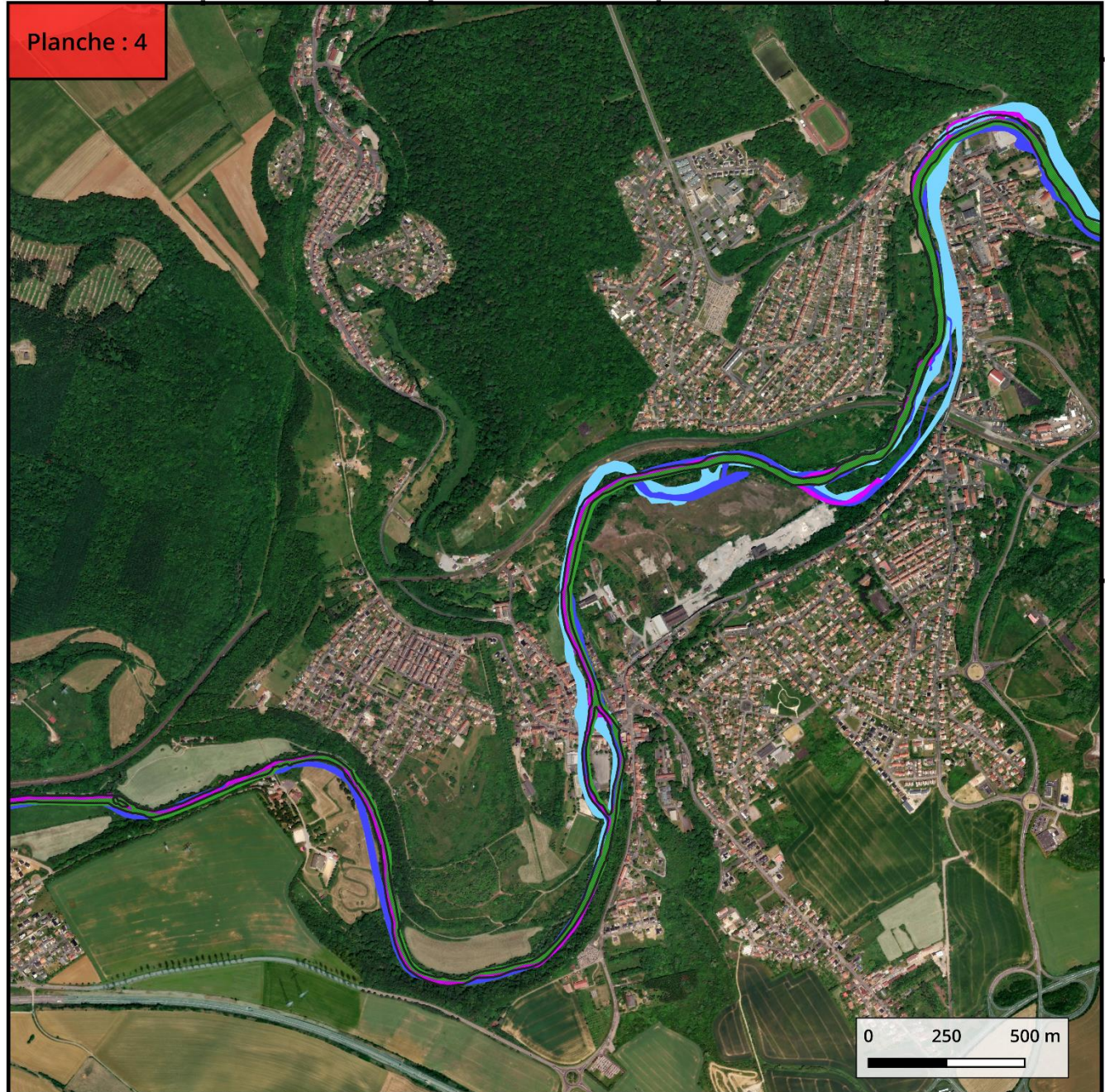
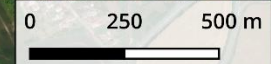
Actuel

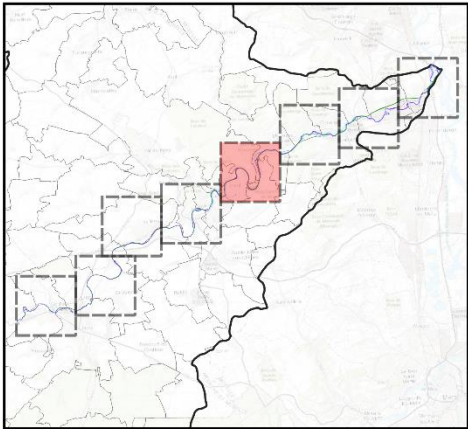
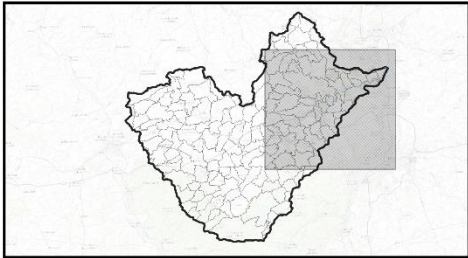
Bassin de l'Orne

Planches



Réalisation : Jacob JEANOT, 2024
Sources : LOTERR / IGN Espace Professionnel
Fond de carte : ESRI World Imagery







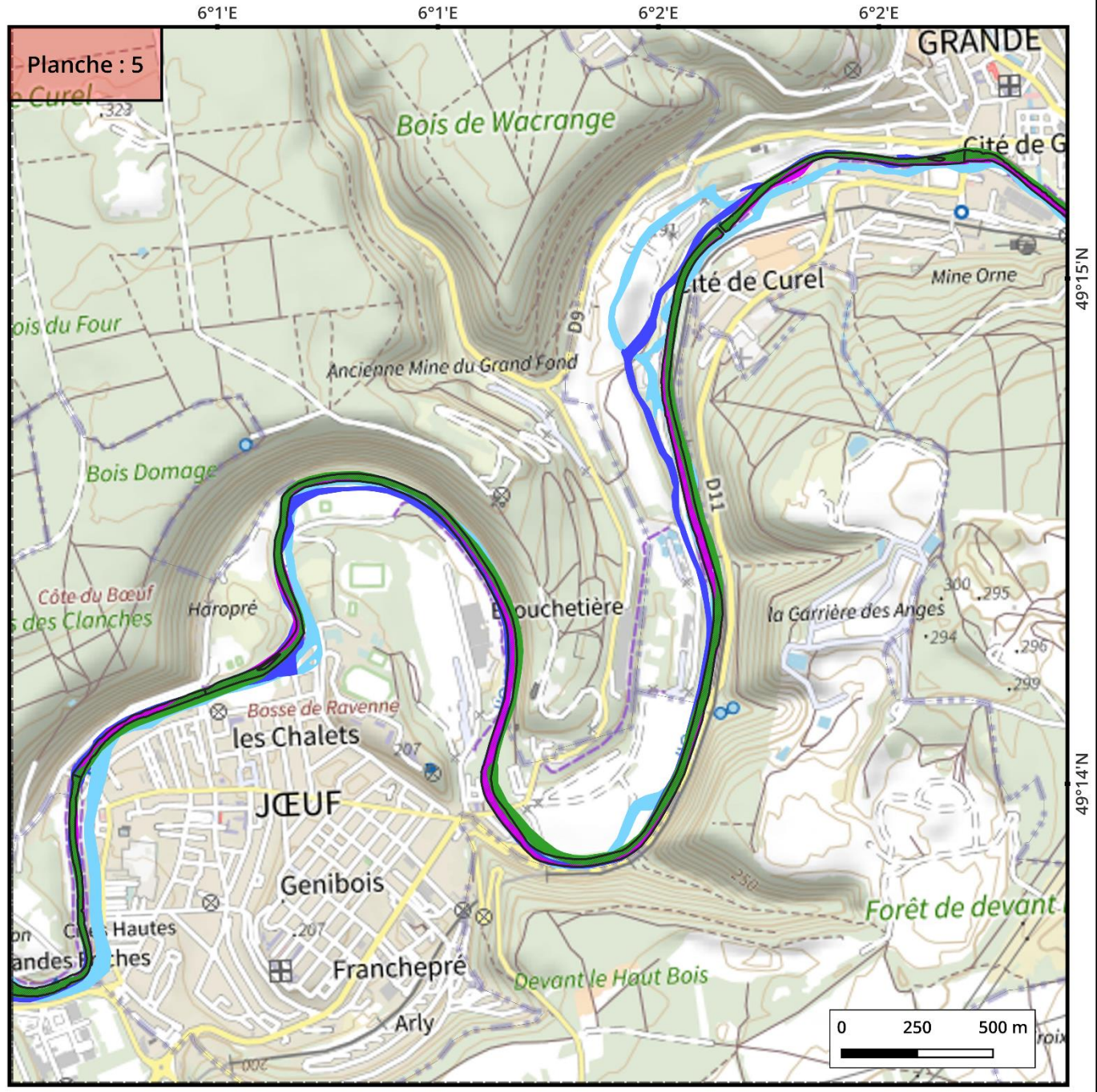
Evolution du lit mineur

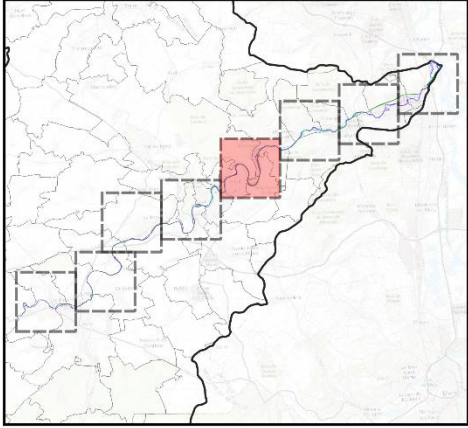
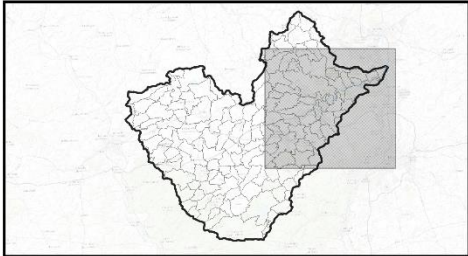
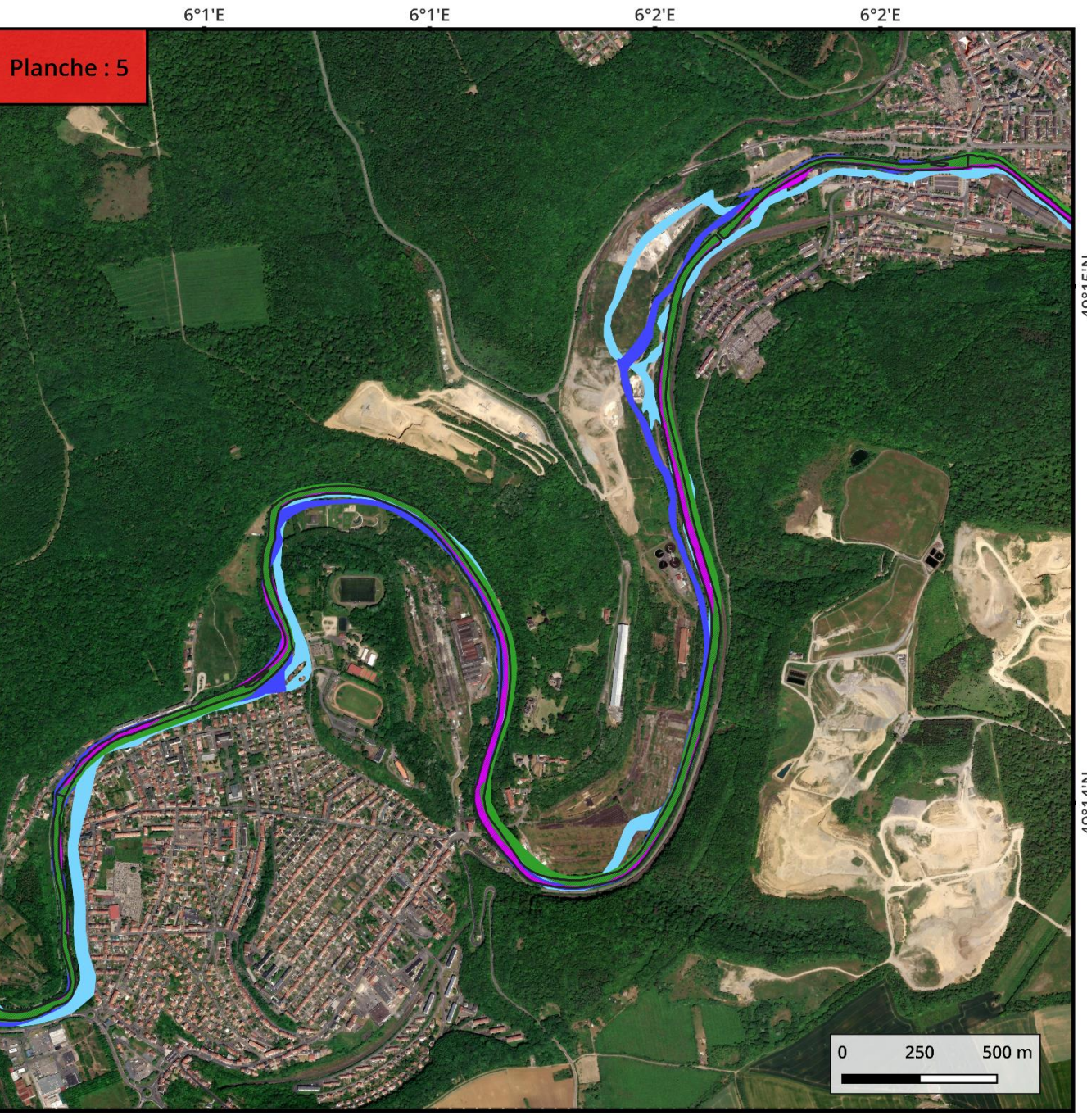
-  1830
-  1928
-  1955
-  1982
-  Actuel



-  Bassin de l'Orne
-  Planches

Réalisation : Jacob JEANOT, 2024
Sources : LOTERR / IGN Espace Professionnel
Fond de carte : Plan IGN V2





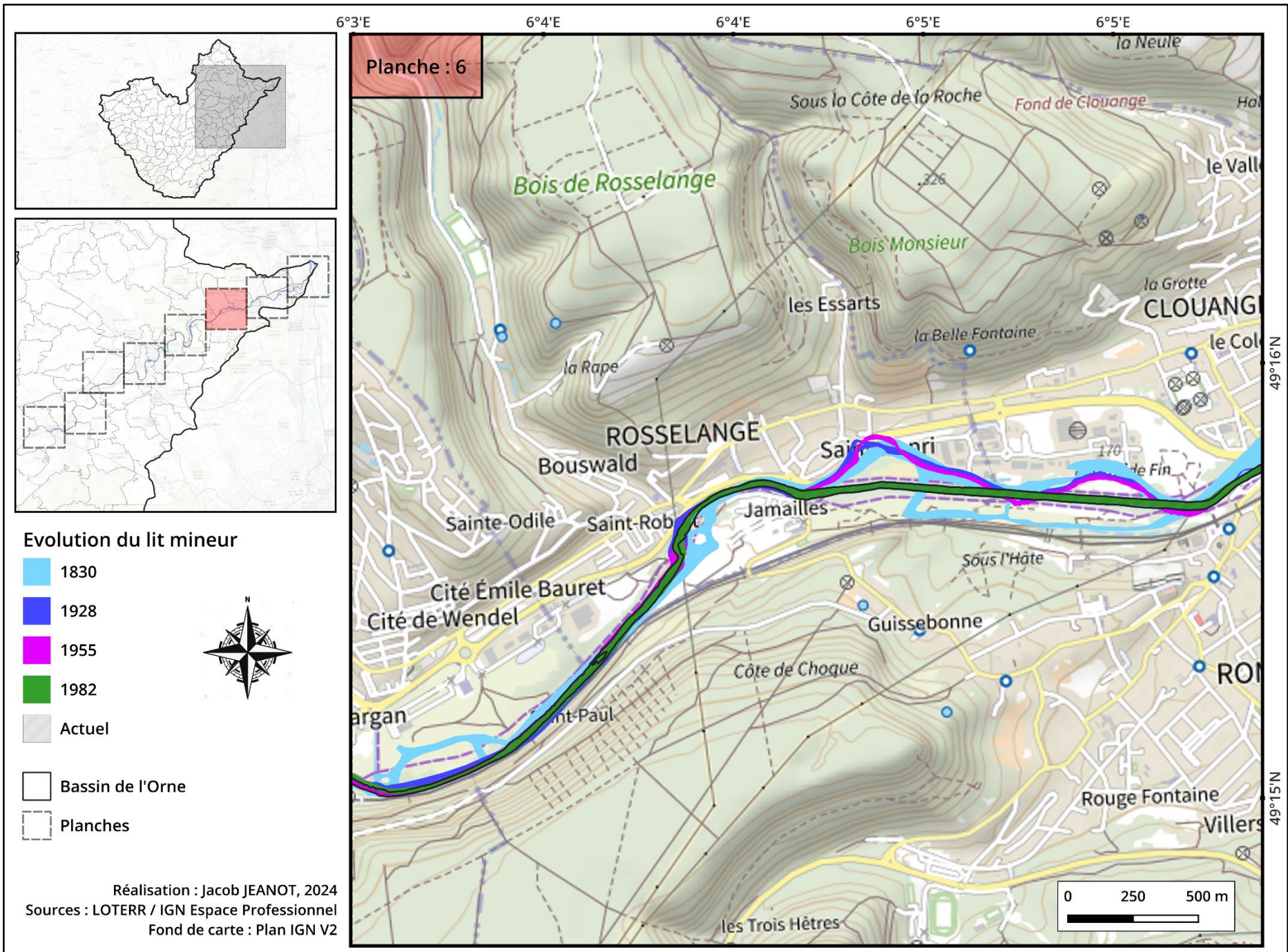
Evolution du lit mineur

- 1830
- 1928
- 1955
- 1982
- Actuel



- Bassin de l'Orne
- Planches

Réalisation : Jacob JEANOT, 2024
 Sources : LOTERR / IGN Espace Professionnel
 Fond de carte : ESRI World Imagery



6°3'E 6°4'E 6°4'E 6°5'E 6°5'E

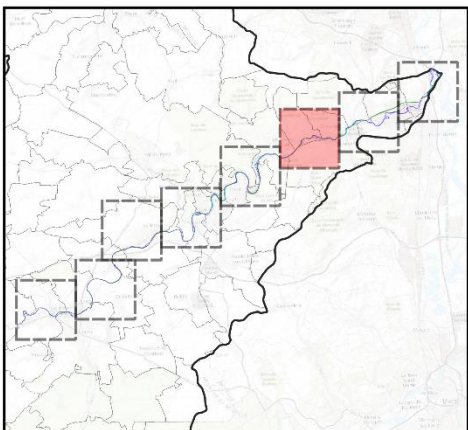
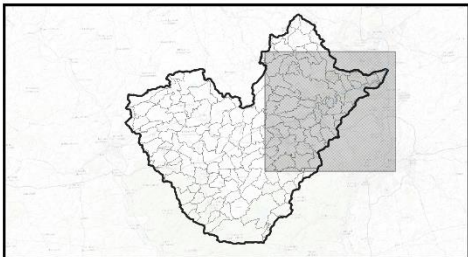
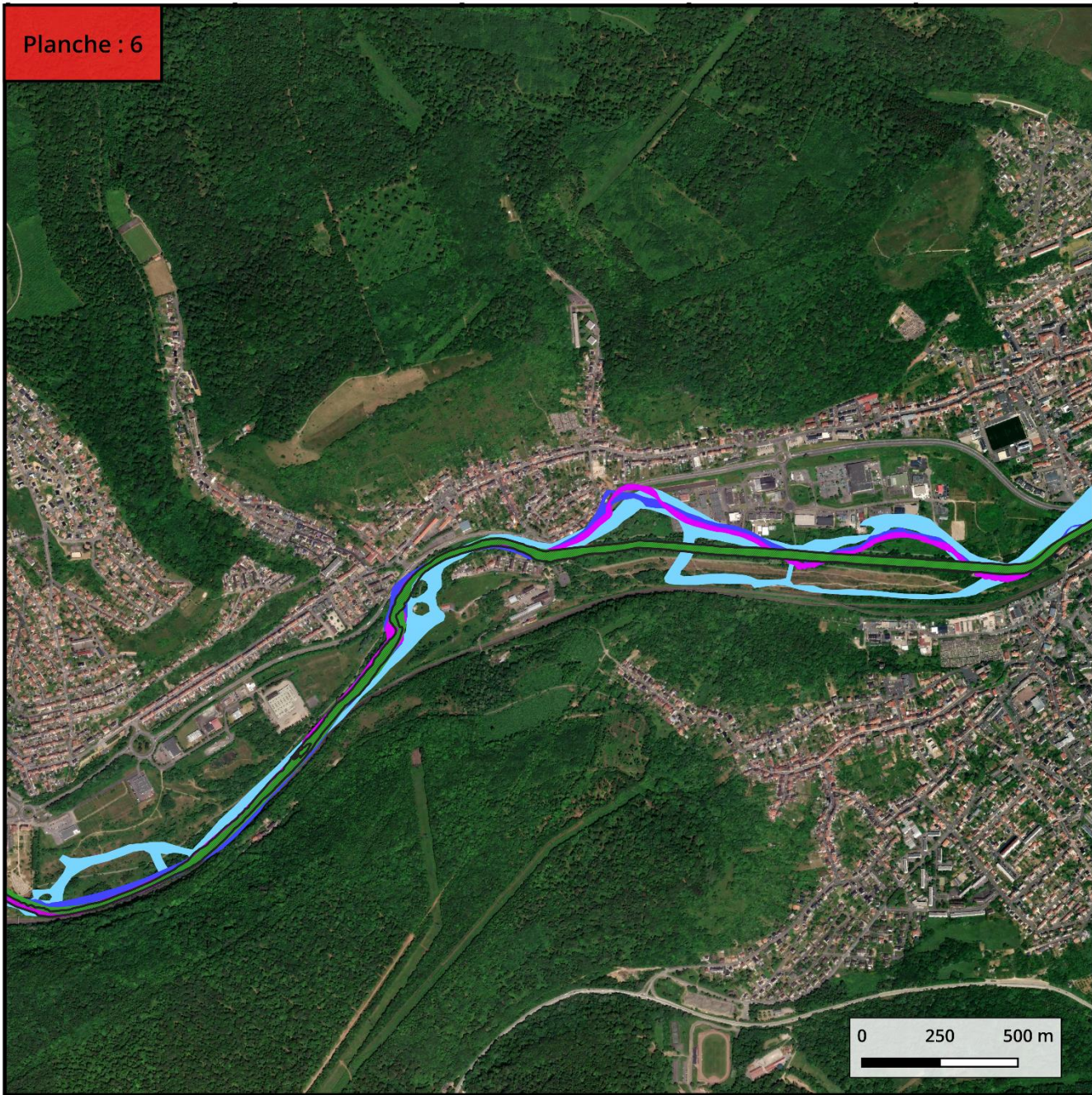


Planche : 6



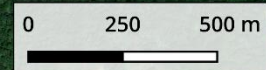
Evolution du lit mineur

- 1830
- 1928
- 1955
- 1982
- Actuel



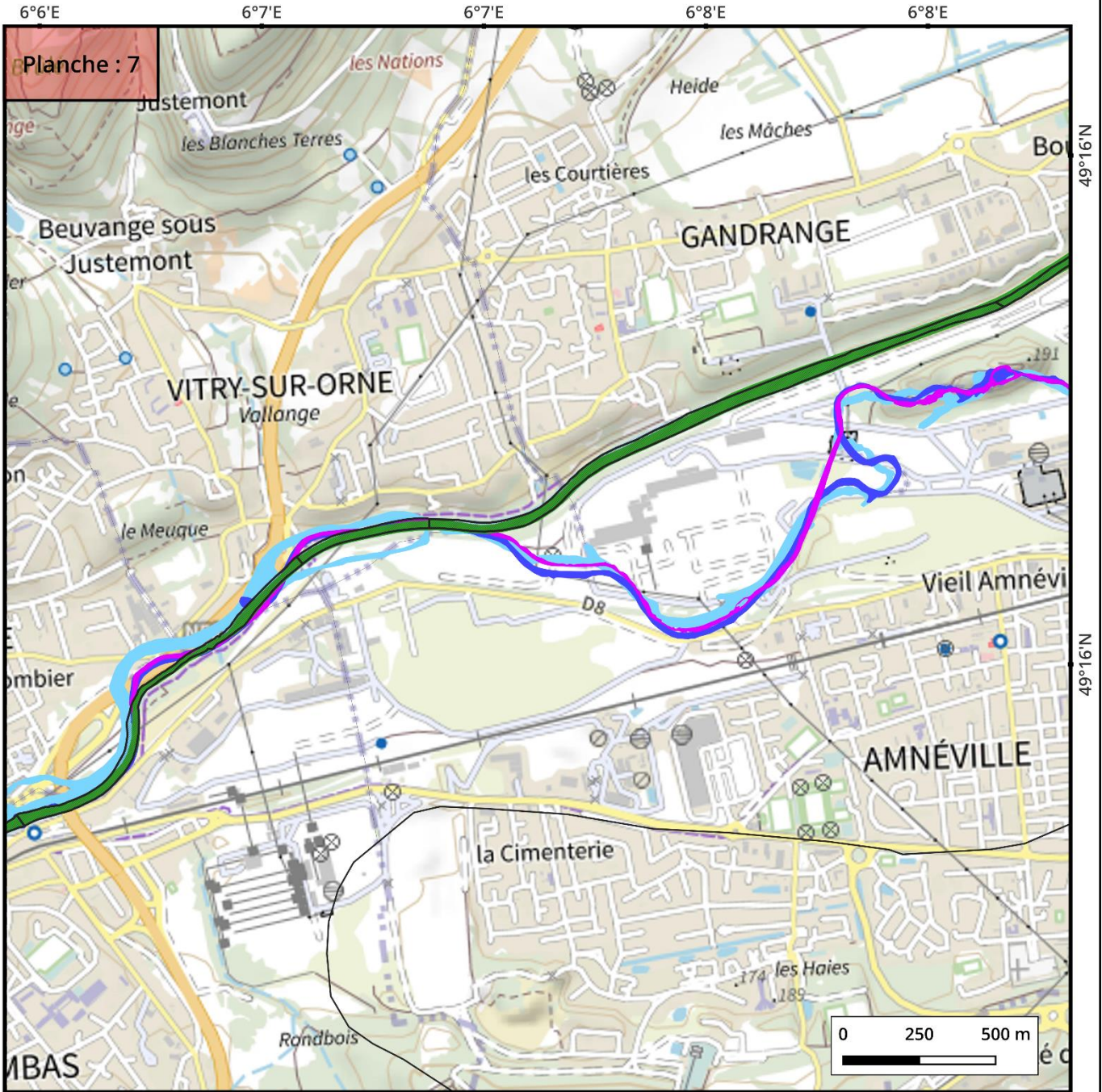
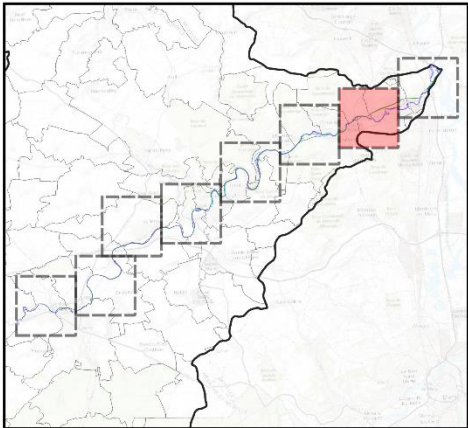
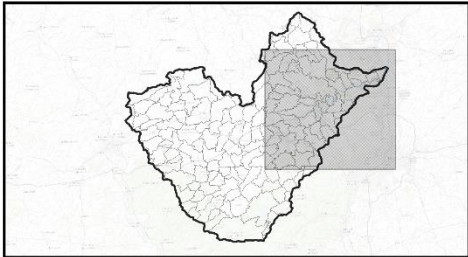
- Bassin de l'Orne
- Planches

Réalisation : Jacob JEANOT, 2024
Sources : LOTERR / IGN Espace Professionnel
Fond de carte : ESRI World Imagery



49°16'N

49°15'N



Evolution du lit mineur

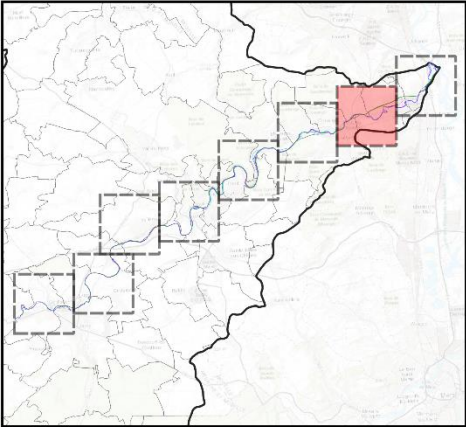
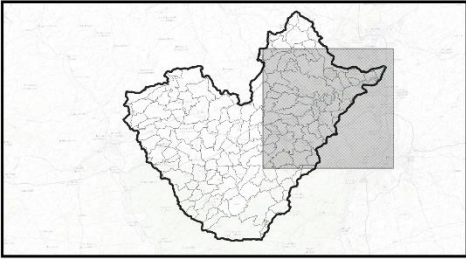
- 1830
- 1928
- 1955
- 1982
- Actuel

- Bassin de l'Orne
- Planches



Réalisation : Jacob JEANOT, 2024
Sources : LOTERR / IGN Espace Professionnel
Fond de carte : Plan IGN V2

6°6'E 6°7'E 6°7'E 6°8'E 6°8'E



Planche : 7



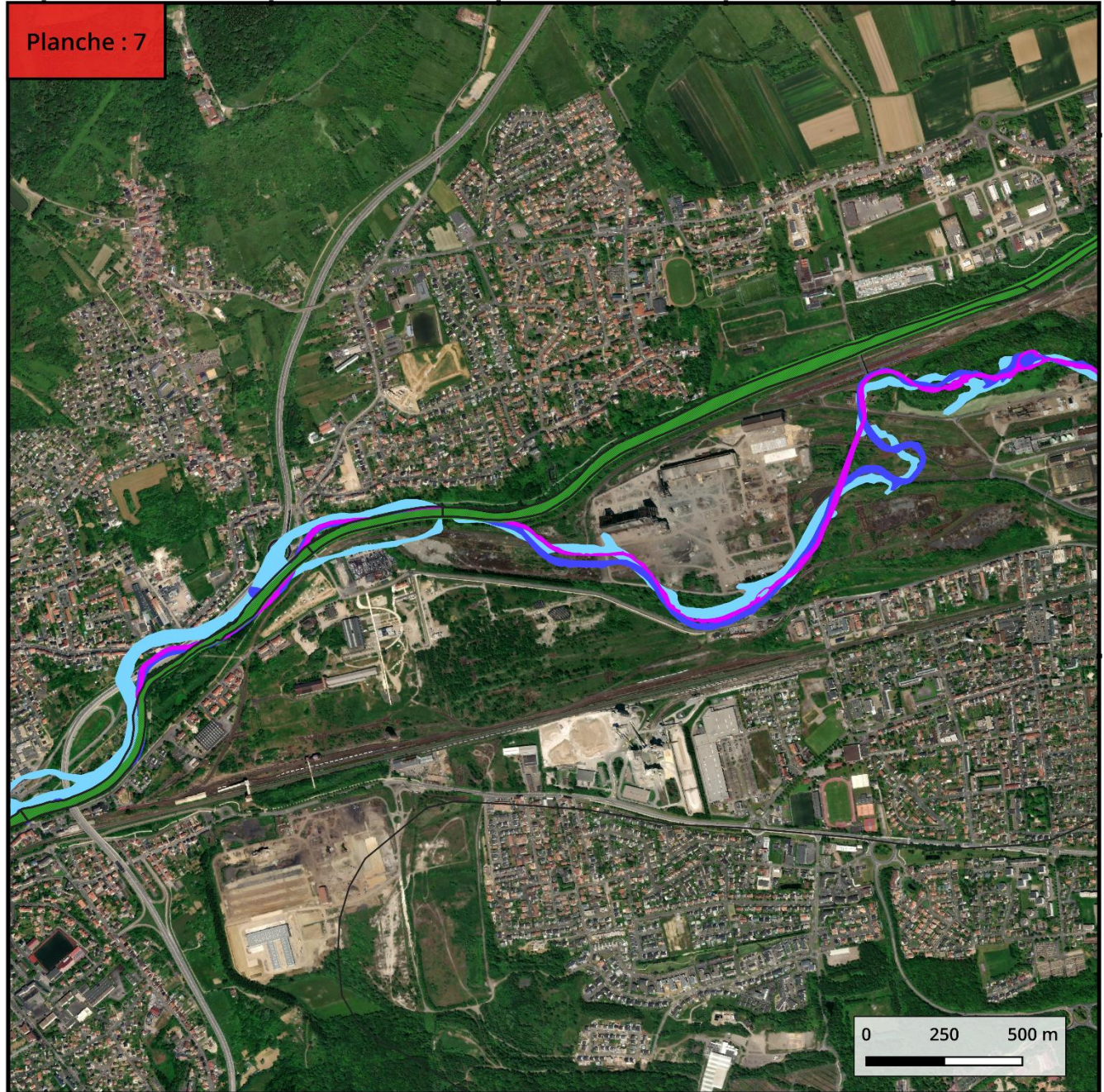
Evolution du lit mineur

-  1830
-  1928
-  1955
-  1982
-  Actuel



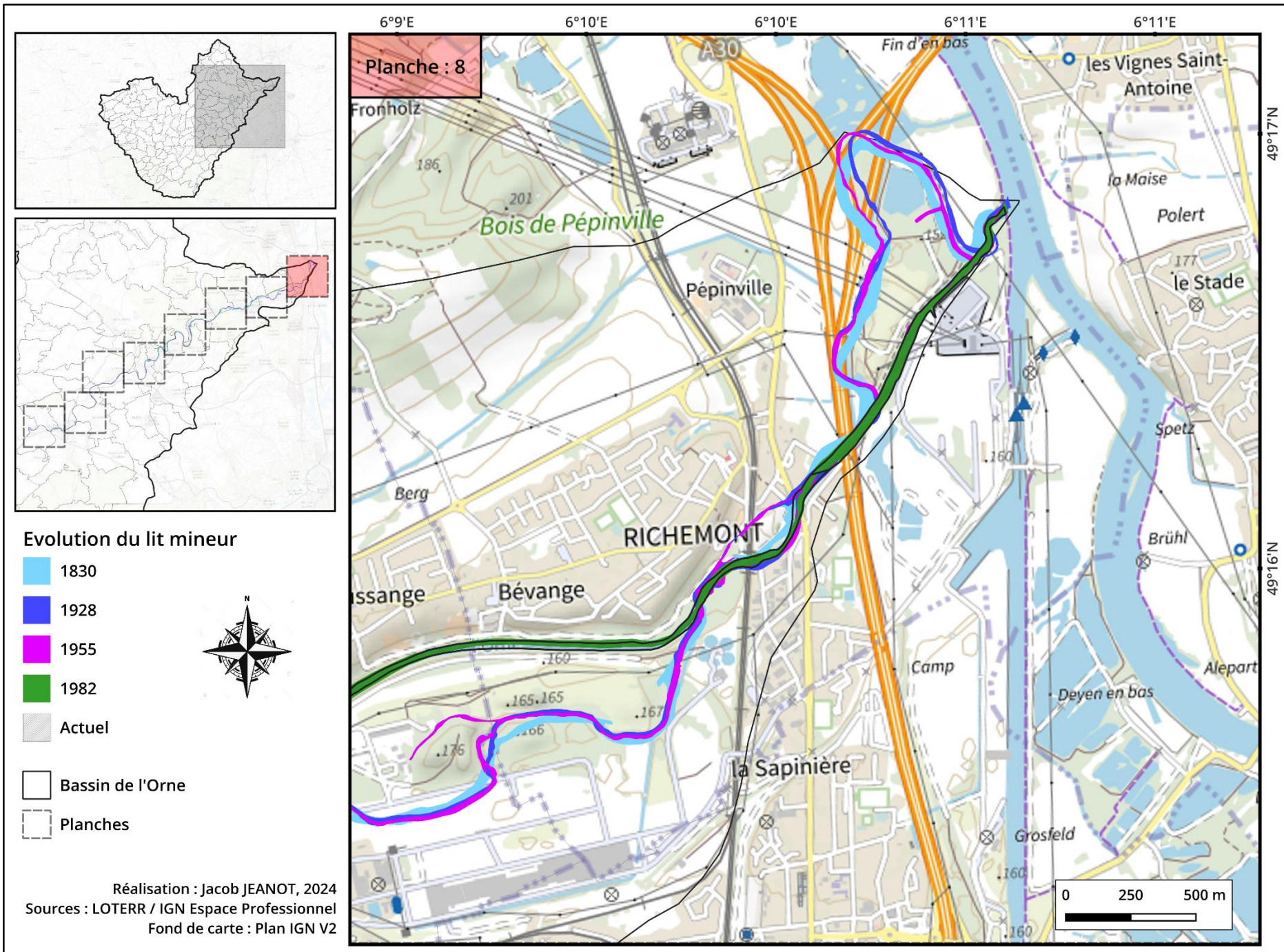
-  Bassin de l'Orne
-  Planches

Réalisation : Jacob JEANOT, 2024
 Sources : LOTERR / IGN Espace Professionnel
 Fond de carte : ESRI World Imagery

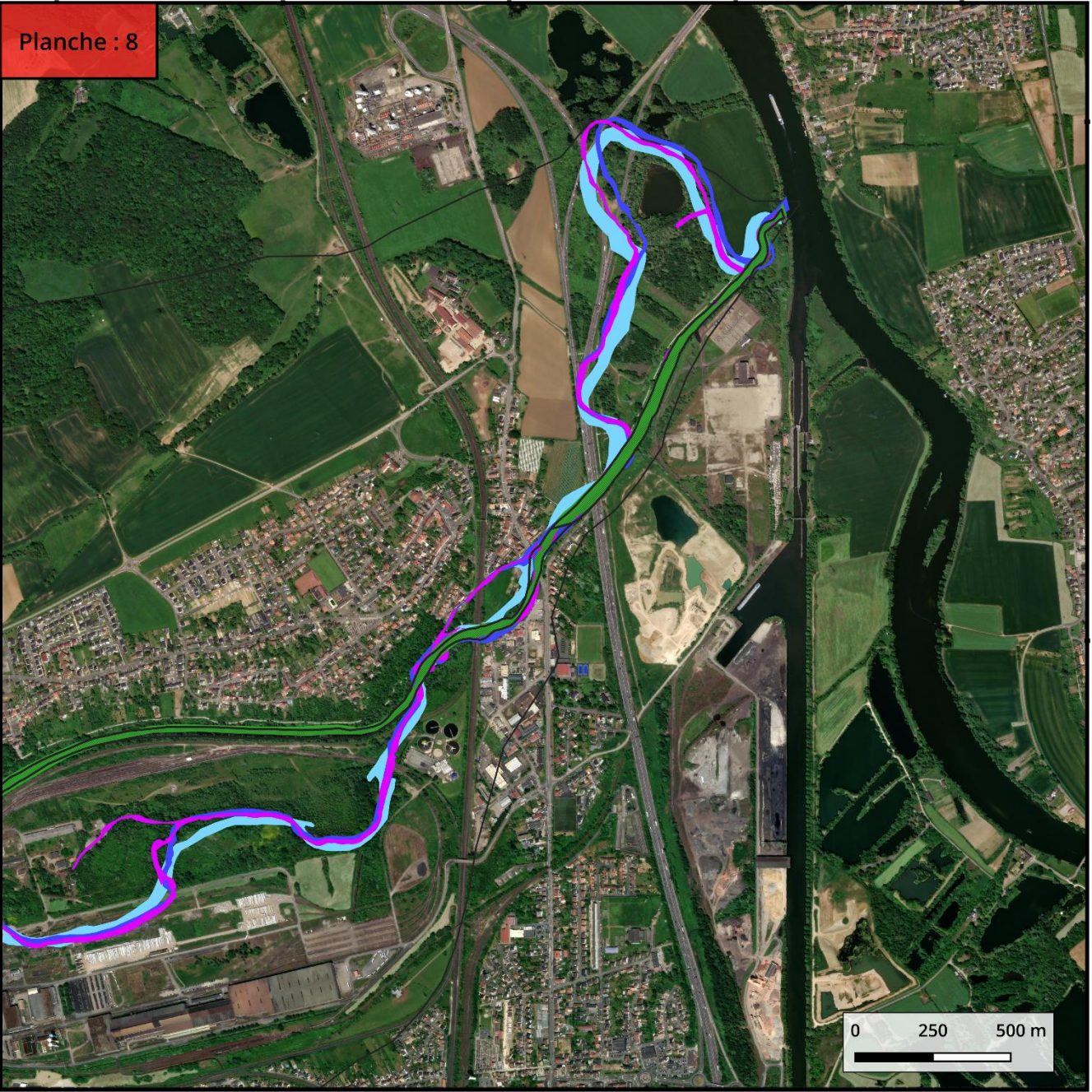


49°16'N

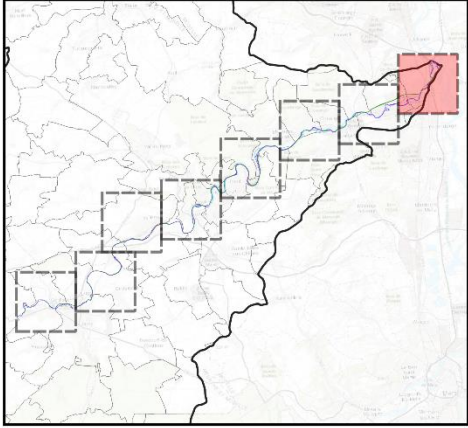
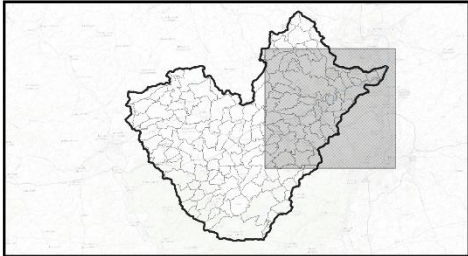
49°16'N



6°9'E 6°10'E 6°10'E 6°11'E 6°11'E



49°17'N
49°16'N



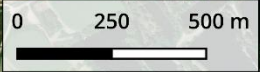
Evolution du lit mineur

- 1830
- 1928
- 1955
- 1982
- Actuel



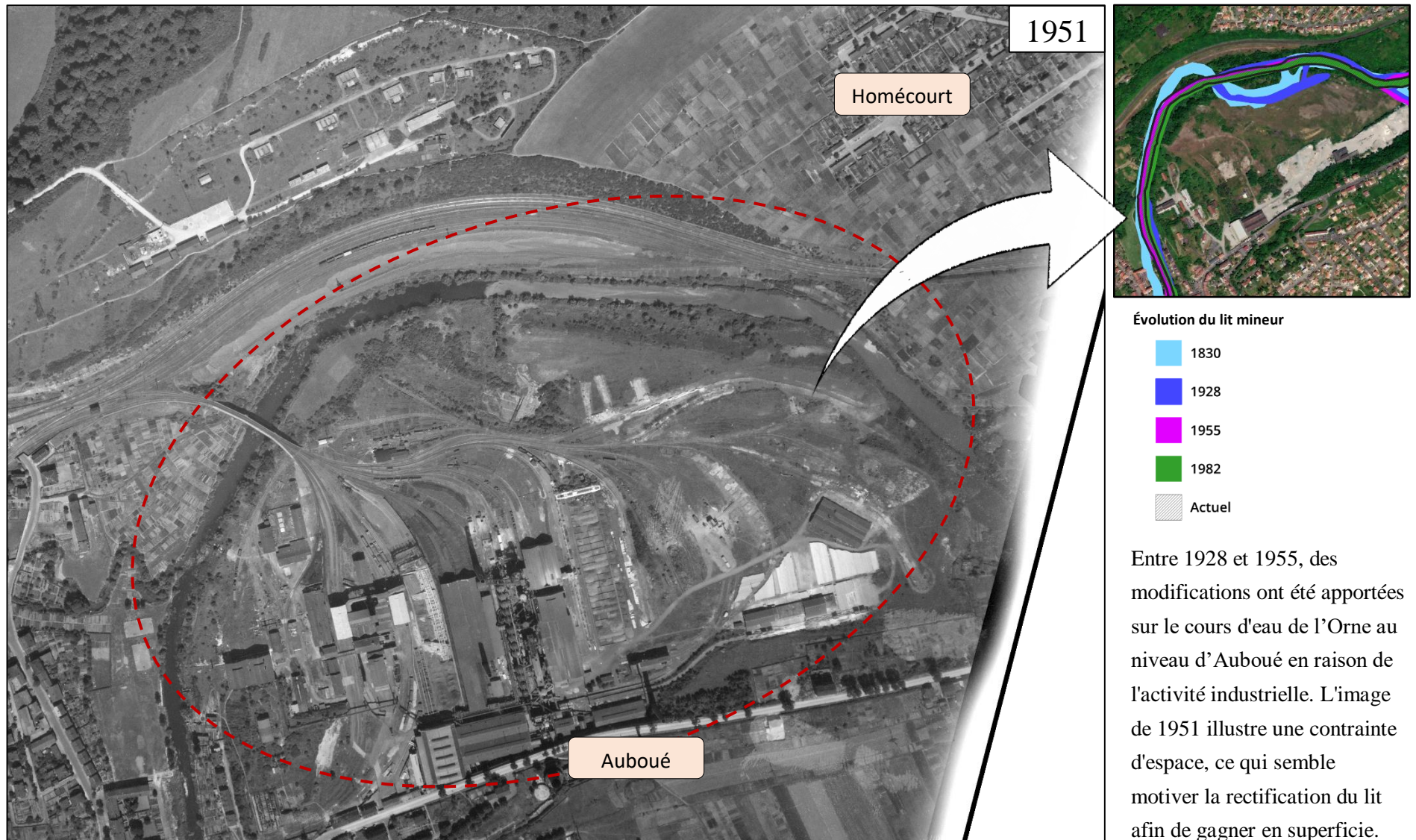
- Bassin de l'Orne
- Planches

Réalisation : Jacob JEANOT, 2024
 Sources : LOTERR / IGN Espace Professionnel
 Fond de carte : ESRI World Imagery

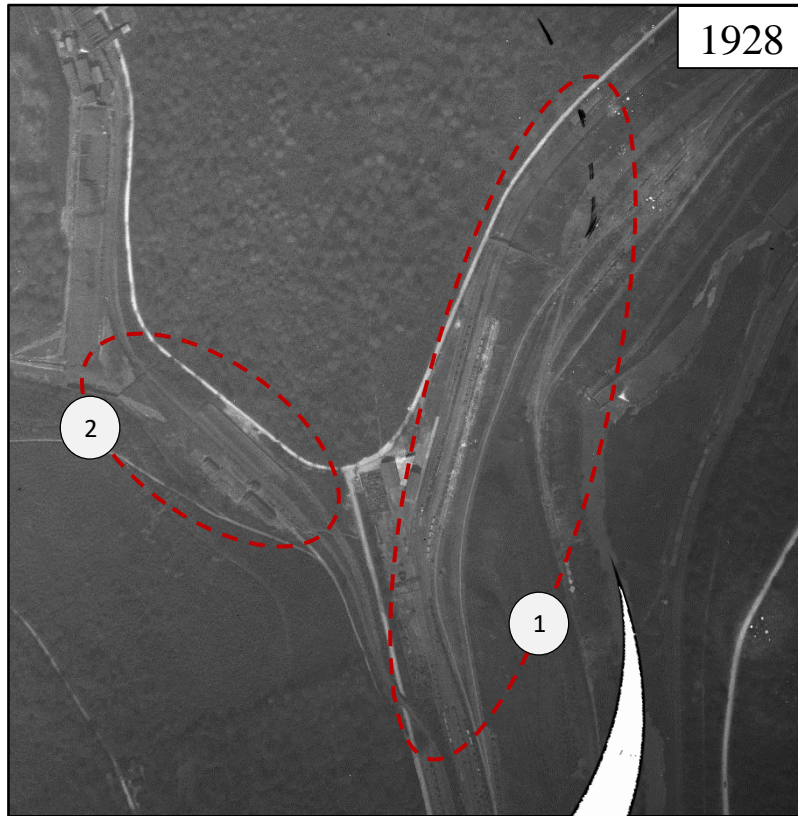


Annexe 7 : Zoom sur les principales modifications du lit mineur de l'Orne

■ Planche 4



■ **Planche 5**

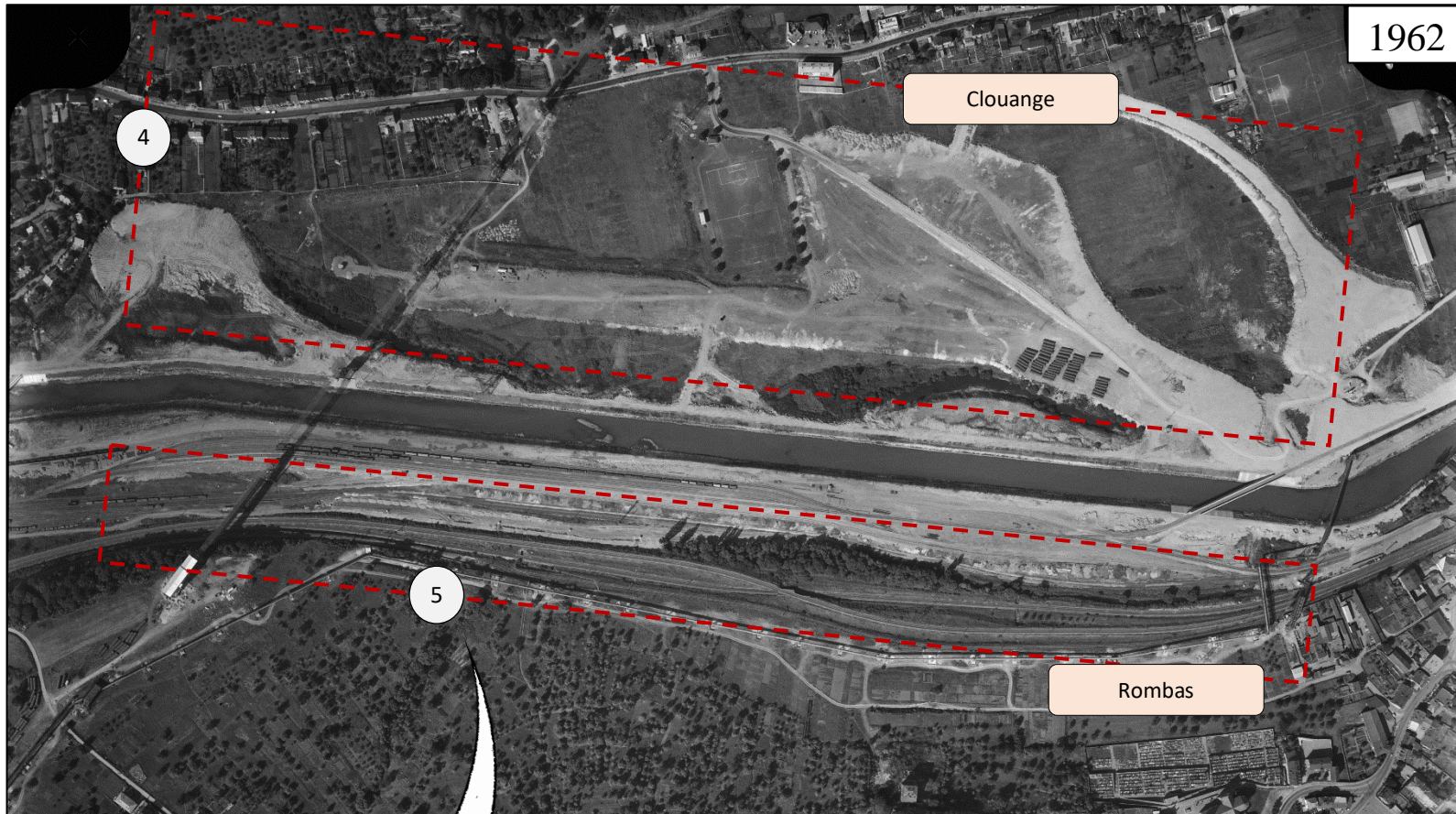


Évolution du lit mineur

- 1830
- 1928
- 1955
- 1982
- Actuel

- ① L'expansion industrielle a entraîné le développement des chemins de fer (1928), essentiellement pour évacuer les produits.
- ② Nous avons à proximité une mine.
- ③ Une construction d'un nouveau haut-fourneau (1960) à Moyeuvre-Grande.

■ **Planche 6**



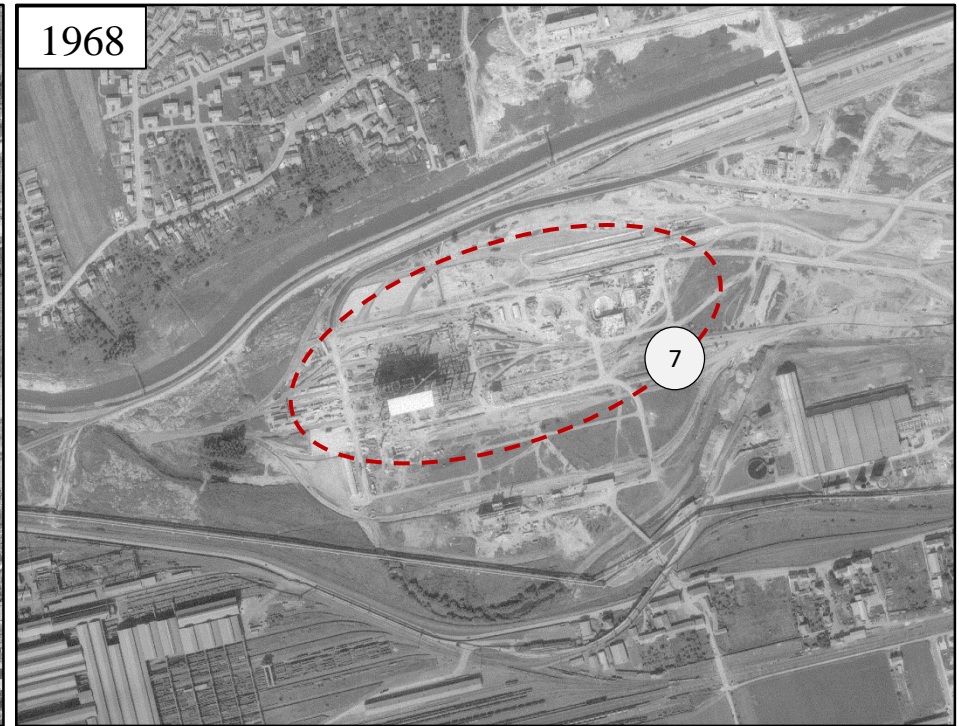
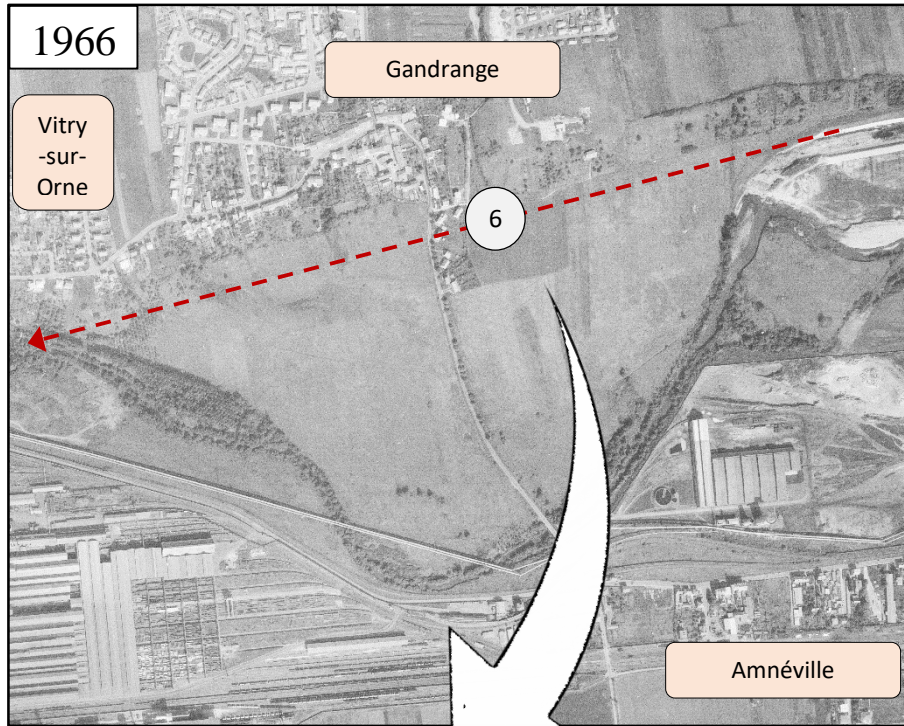
Évolution du lit mineur

- 1830
- 1928
- 1955
- 1982
- Actuel

④ Extension urbaine à Clouange, pour accueillir le Parc d'Activités et les Zones Économiques.

⑤ La correction dans la partie inférieure correspond à l'usage de la voie ferrée pour le transport des mines et autres.

▪ **Planche 7**



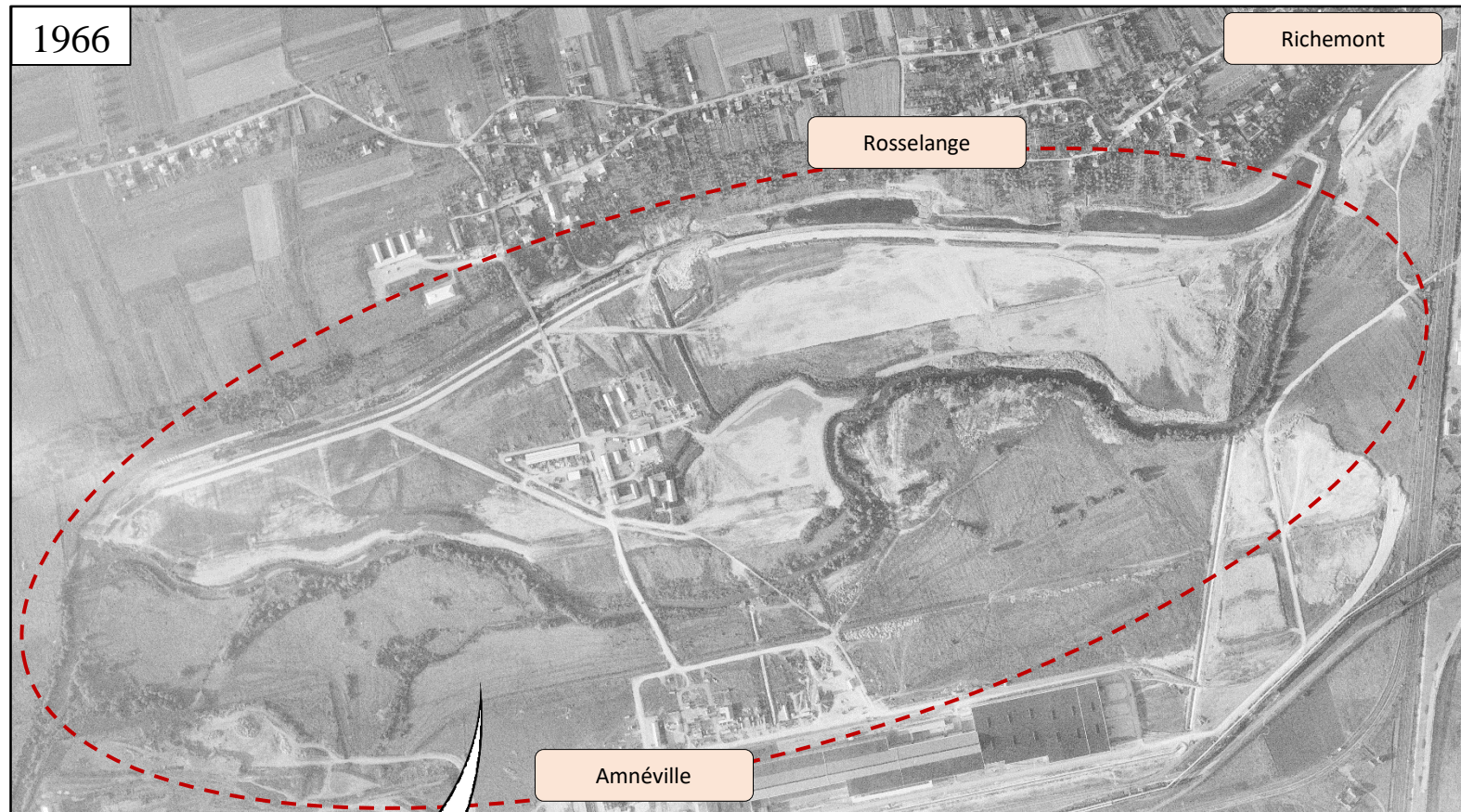
Évolution du lit mineur

- 1830
- 1928
- 1955
- 1982
- Actuel

⑥ Entre 1966 et 1968, poursuite des travaux commentés dans la planche 8 (à la page suivante).

⑦ Sur l'image de 1968, la construction de l'usine a commencé.

■ **Planche 8**

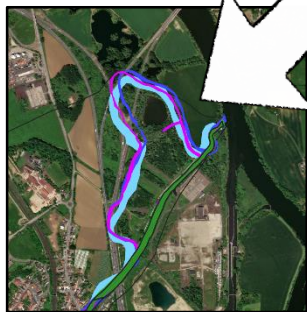
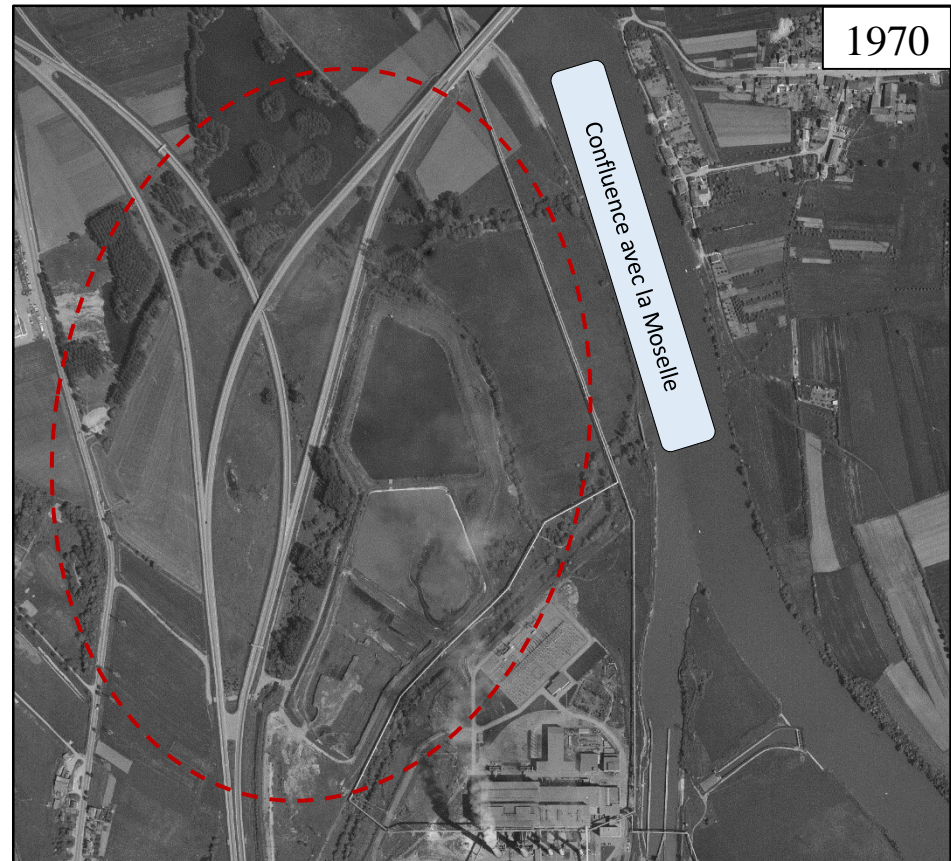
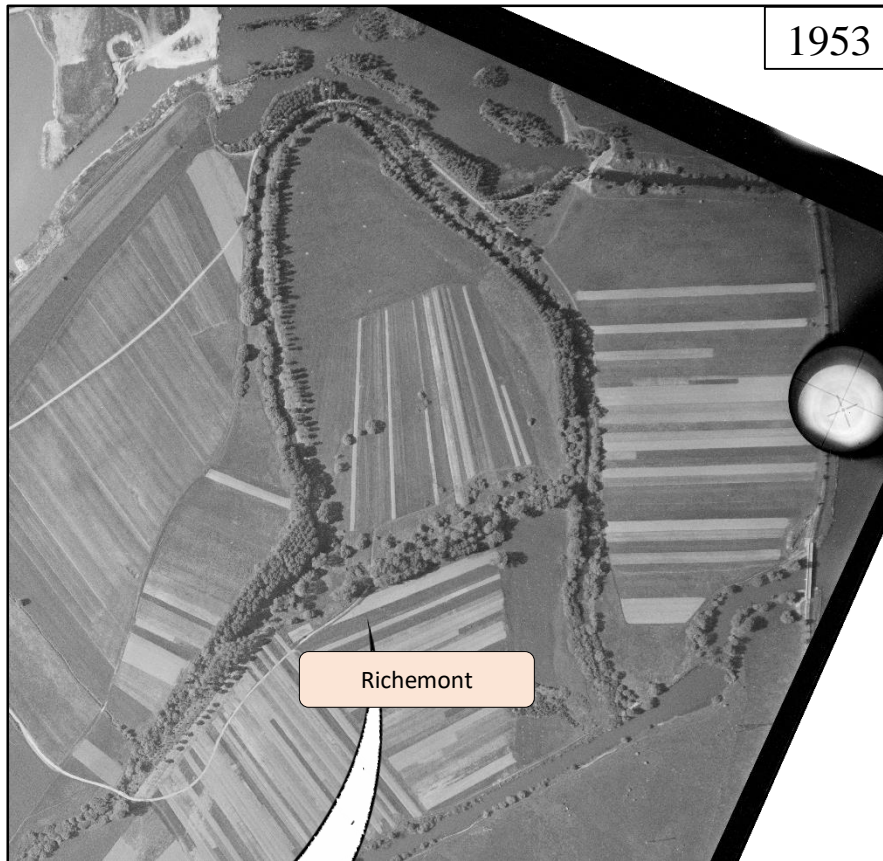


Évolution du lit mineur

-  1830
-  1928
-  1955
-  1982
-  Actuel

Les travaux d'aménagement débute en 1966 à Gandrange pour permettre la mise en place d'une usine et s'étendent de Richemont jusqu'à Vitry-sur-Orne. L'infrastructure industrielle relie nombreuses localités et s'allonge sur plusieurs kilomètres.

■ **Planche 8 (bis)**



Évolution du lit mineur

- 1830
- 1928
- 1955
- 1982
- Actuel

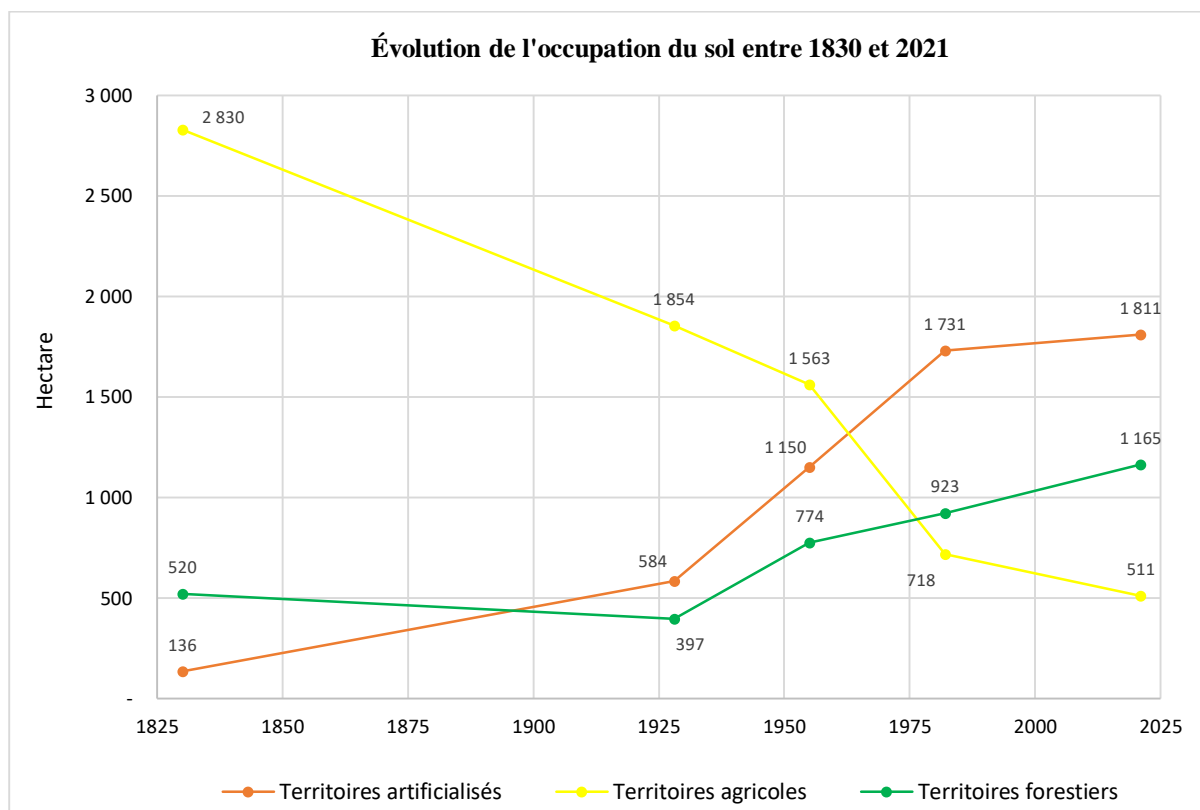
La création d'un axe de communication, l'autoroute A31 (ouverture : 1966), est l'une des principales causes de l'effacement du méandre.

Sources des photographies aériennes contenues dans l'annexe 7

Elles proviennent toutes de l'espace professionnel de l'IGN - Remonter le Temps : <https://remonterletemps.ign.fr/telecharger/>

Localisations	Identifiants des missions	Identifiants des clichés	Numéros
Planche 4	94PHQ3341	IGNF_PVA_1-0__1951-05-01__C94PHQ3341_1951_F3112-3612_0190	190
Planche 5	3411-0561	IGNF_PVA_1-0__1928-04-26__C3411-0561_1928_NP4_104015bis	104015
	3112-0041	IGNF_PVA_1-0__1960-09-11__C3112-0041_1960_F3112-3312P_0140	140
Planche 6	3312-0131	IGNF_PVA_1-0__1962-09-03__C3312-0131_1962_CDP1954_2133	2133
Planche 7	3410-0451	IGNF_PVA_1-0__1966__C3410-0451_1966_CDP7750_2722	2722
	3312-0011	IGNF_PVA_1-0__1968-09-10__C3312-0011_1968_F3312_0046	46
Planche 8	3410-0451	IGNF_PVA_1-0__1966__C3410-0451_1966_CDP7750_2683	2683
Planche 8 (bis)	93PHQ8331	IGNF_PVA_1-0__1953-05-04__C93PHQ8331_1953_CDP3772_0551	551
	3313-0101	IGNF_PVA_1-0__1970__C3313-0101_1970_CDP7902_4810	4810

Annexe 8 : Évolution de l'occupation du sol entre 1830 et 2021



Annexe 9 : Page de couverture de la présentation à la JS ZAM (22/05/2024)



UNIVERSITÉ
DE LORRAINE

22 mai 2024

Stage de recherche de master 1 du 18 mars au 26 juillet 2024

Une frise sur le bassin versant de l'Orne

Jacob JEANOT

Sous de la direction de :

Claire DELUS | Maître de stage

Isabelle CHARPENTIER | Co-maître de stage

Xavier ROCHEL | Tuteur pédagogique

En collaboration avec :

Emmanuelle MONTARGÈS-PELLETIER & Laurence MANSUY-HUAULT



Zones
Ateliers



LIEC



ICUBE



LOTERR

Table des matières

Remerciements	5
Sommaire	6
Introduction.....	7
PARTIE 1 : CADRE GENERAL.....	10
1.1. État de l’art.....	11
1.1.1. La notion des services écosystémiques et socio-écosystèmes	11
1.1.1.1. Des définitions qui se complètent	11
1.1.1.2. Typologie des services	11
1.1.1.3. Évaluation des services écosystémiques	12
1.1.2. L’interdisciplinarité pour comprendre les relations Homme-Nature	13
1.1.3. Une frise chrono-systémique pour capturer la trajectoire géo-historique	13
1.1.4. La science ouverte, essentielle à la durabilité scientifique	14
1.2. Présentation de la zone d’étude.....	15
1.2.1. Localisation.....	15
1.2.2. Orohydrographie	16
1.2.3. Hydro-climatologie	17
1.2.4. Occupation du sol.....	19
1.2.5. Géologie.....	20
1.2.6. Population	21
1.2.7. Activités économiques.....	22
1.3. Présentation de la structure d’accueil	23
PARTIE 2 : MÉTHODOLOGIE	24
2.1. Exploitation des données géographiques et analyses statistiques	25

2.1.1.	Représentations et séries temporelles de la population	25
2.1.2.	Analyse diachronique du lit mineur et indice de sinuosité	26
2.1.3.	Caractérisation de l'occupation du sol	27
2.1.3.1.	Géoréférencement	27
2.1.3.2.	Vectorisation	28
2.2.	Frise chrono-systémique.....	29
2.2.1.	Collecte de données.....	29
2.2.1.1.	Base de données en libre accès	29
2.2.1.2.	Base de données du LOTERR	29
2.2.1.3.	Base de données des autres laboratoires.....	30
2.2.2.	Encodage de données	30
2.2.3.	Représentation et analyse	31
2.3.	La géohistoire à travers la cartographie narrative	31
2.4.	Dépôt de données.....	32
2.4.1.	Findable (facile à trouver)	32
2.4.2.	Accessible	33
2.4.3.	Interopérable	33
2.4.4.	Réutilisable	34
2.5.	Chronogramme du stage.....	35
PARTIE 3 : RÉSULTATS & DISCUSSION.....		36
3.1.	Des évolutions démographiques contrastées entre 1861 et 2020.....	37
3.1.1.	Une croissance démographique concentrée sur le bassin ferrifère	38
3.1.2.	L'impact de la crise sidérurgique sur la population de l'Orne	42
3.2.	Une anthropisation du lit mineur accentuée à partir des années 1930	43
3.3.	Des villages-rues aux friches industrielles : des renaturations en cours.....	49

3.4. Frise chrono-systémique.....	52
3.5. Discussion, limites et perspectives de l'étude.....	58
Conclusion	61
Références	63
Glossaires	66
Liste des acronymes et sigles	68
Table des illustrations.....	69
Annexes	70
Annexe 1 : Nombre de la population totale dans le bassin versant de l'Orne.....	70
Annexe 2 : Erreur quadratique moyenne des orthophotographies (1928)	71
Annexe 3 : Erreur quadratique moyenne des orthophotographies (1982)	72
Annexe 4 : Les villes du fer et de l'acier dans la vallée de l'Orne au XX ^e siècle	73
Annexe 5 : Valeur de l'indice de sinuosité de l'Orne à partir du Conflans-en-Jarnisy	73
Annexe 6 : Atlas sur l'évolution du lit mineur entre 1830 et 2020	74
Annexe 7 : Zoom sur les principales modifications du lit mineur de l'Orne	90
Annexe 8 : Evolution de l'occupation du sol entre 1830 et 2021	97
Annexe 9 : Page de couverture de la présentation à la JS ZAM	97
Table des matières	98
RÉSUMÉ	101
ABSTRACT.....	101

RÉSUMÉ

Cette étude interdisciplinaire portée par le laboratoire LOTERR dans le cadre de la science ouverte, explore l'évolution du bassin versant de l'Orne en adoptant une approche socio-éco-technosystème. En utilisant la frise chrono-systémique, elle analyse les interactions entre les dynamiques écologiques, démographiques et industrielles. Les résultats mettent en évidence des corrélations entre l'essor industriel, la croissance démographique et les changements paysagers telles qu'une urbanisation croissante et une diminution de la sinuosité du cours d'eau. L'étude souligne également les efforts de renaturation et de préservation des espaces naturels face aux défis posés par l'artificialisation. Par ailleurs, des limites liées à la recherche, à la digitalisation des données historiques et à l'interprétation des résultats sont constatés. Pour l'avenir, l'intégration d'avis externes ainsi que les perspectives incluant le développement d'outils interactifs utilisés seront sollicitées afin d'enrichir l'analyse et d'offrir une visualisation améliorée des données.

Mots-clés : interdisciplinarité, science ouverte, socio-éco-technosystème, frise, industrie, démographie, sinuosité, renaturation, outil interactif.

ABSTRACT

This interdisciplinary study, initiated by the LOTERR laboratory within the framework of the Open Science programme, explores the evolution of the Orne watershed by adopting a social-ecological-technological systems approach. Using the chrono-systemic framework, it analyses the interactions between ecological, demographic and industrial dynamics. The results highlight correlations between industrial development, population growth and landscape changes such as increasing urbanisation and a decrease in the sinuosity of the river course. The study also highlights the efforts being made to renaturalise and preserve natural areas in response to urbanization challenges. However, there are limits to the research, to the historical data digitization and to the result interpretation. The integration of external opinions and future perspectives including the development of interactive tools are solicited in order to enrich the analysis and enhanced the data visualisation.

Keywords: interdisciplinarity, open science, social-ecological-technological systems, framework, industry, population growth, sinuosity, re-naturalization, interactive tools.